

DESENHO URBANO E CONFORTO TÉRMICO: avaliação dos espaços abertos da Barra Funda, em São Paulo, por meio de levantamentos de campo e simulação preditiva

Denise Duarte, Joana Gonçalves, Leonardo M. Monteiro

Universidade de São Paulo/ Fac. Arquitetura e Urbanismo / Dep. Tecnologia (FAUUSP/AUT)

LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética

Rua do Lago, 876 Cidade Universitária 05508-900 São Paulo – SP Brasil

tel.: 11 3091-4681, r.214 / fax: 11 3091-4539

dhduarte@terra.com.br jocarch@usp.br leo4mm@gmail.com

RESUMO

O objeto desta pesquisa são as condições de conforto térmico em diferentes microclimas resultantes do desenho urbano da região da Barra Funda, zona oeste de São Paulo. O objetivo é verificar a adequação térmica de espaços abertos com diferentes configurações, inferindo possíveis relações com as características morfológicas e materiais de cada local estudado. O método adotado é empírico (levantamento de campo de variáveis ambientais) auxiliado por método analítico (simulação de modelos preditivos). Os levantamentos de campo foram feitos ao longo de um dia de verão, em sete locais distintos distanciados entre si por curtos percursos passíveis de serem realizados a pé. Os resultados foram utilizados para verificação das condições de conforto térmico dos usuários por meio de modelo preditivo calibrado empiricamente para uma população adaptada às condições climáticas da cidade de São Paulo. Diferenças nos resultados finais das diversas localidades foram observadas e são discutidas comparativamente, apontando para estratégias de projeto urbano em questão e servindo como embasamento para futuras intervenções na área.

ABSTRACT

The theoretical subject of this research is the thermal comfort condition in different microclimates as a consequence of the urban design of Barra Funda neighborhood, in the west zone of Sao Paulo, Brazil. The objective is to assess the thermal adequacy of different open spaces, inferring possible correlations with morphological and physical characteristics of each space. The method is empirical (on-site measurements of environmental variables) supported by analytical method (predictive models simulation). On site measurements were carried out over a summer day in seven different locations within short walking distances. The results were used to assess thermal comfort through a predictive model that was empirically calibrated to a population adapted to Sao Paulo climatic conditions. Differences in the locations' final results were found and comparatively discussed, pointing out to strategies for the urban project and constituting a base that can lead to proposals for future urban interventions in the area.

1. INTRODUÇÃO

Dando continuidade a estudos anteriores, esta pesquisa centra-se nas condições de conforto térmico em diferentes microclimas resultantes do desenho urbano da Barra Funda, na zona oeste de São Paulo. Essa área foi objeto da Operação Urbana Água Branca (São Paulo, 1995), implementada desde 1996/97, até hoje sem sucesso, e foi eleita para o concurso promovido pela Prefeitura Municipal de São Paulo e pelo IAB/SP em 2004, com o intuito de se criar um “Bairro Novo”, em uma área de 107ha. Recentemente, a

mesma área foi objeto de investigação de especialistas brasileiros e britânicos, incluindo os autores, visando explorar as possibilidades de intervenção para uma proposta de reabilitação urbana. Duarte e Gonçalves (2006) apresentam a área de estudo, contextualizando-a na cidade de São Paulo e discutindo questões relativas à vegetação, morfologia, materiais e densidade. Nesta pesquisa, o objetivo é verificar a adequação térmica de espaços abertos na Barra Funda com diferentes configurações, inferindo possíveis relações com as características morfológicas e de vegetação de cada local estudado.

2. LEVANTAMENTOS EMPÍRICOS

O método adotado é empírico, por meio de levantamentos de campo de variáveis térmicas ambientais, auxiliado por método analítico, realizando-se simulações computacionais de modelos preditivos. Os levantamentos foram feitos ao longo de um dia de verão, em sete locais distintos distanciados entre si por curtos percursos passíveis de serem realizados a pé, conforme pode ser verificado na Figura 1.

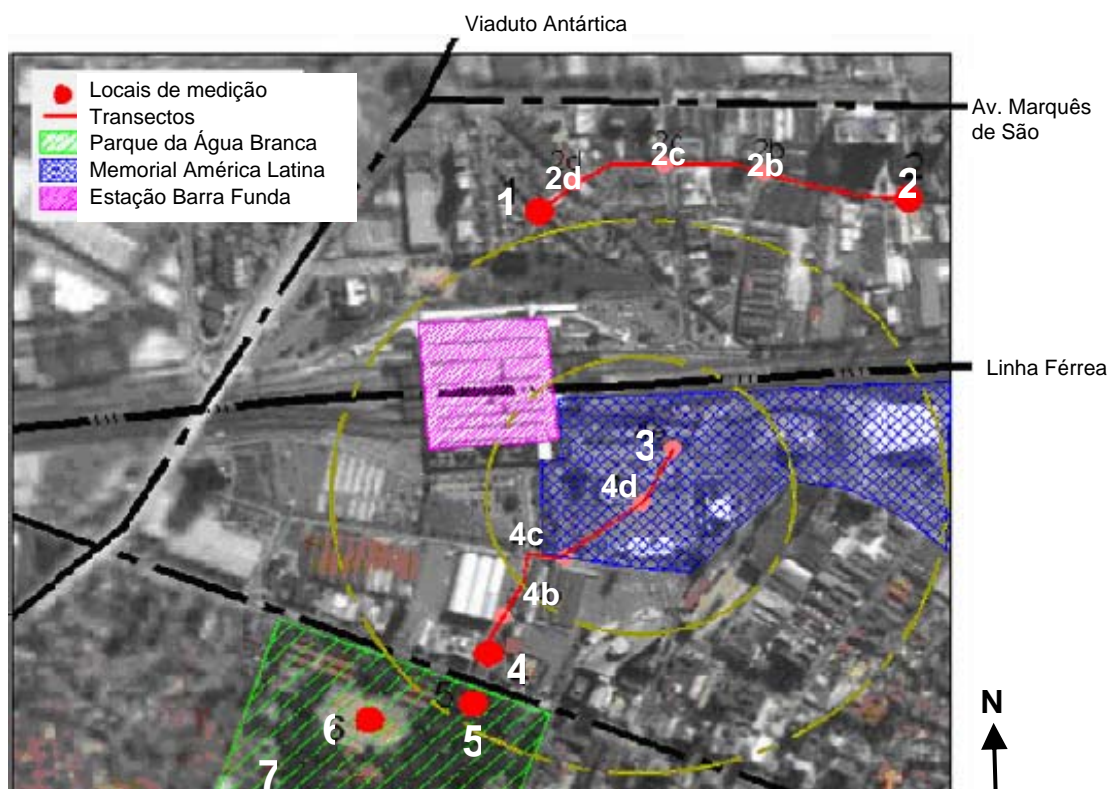


Figura 1: Vista aérea da região, indicando os locais de medição e entorno.

Os locais numerados, indicados na Figura 1, podem ser observados em detalhes apresentados na Figura 2. A Figura 3 traz o fator de visão de céu e ilustrativamente as condições de nebulosidade para cada um dos locais em estudo. Em cada uma das bases, foi montado um ponto de medição com um termohigrômetro marca Homis modelo 229 e um anemômetro marca Homis modelo 209. Os dados foram registrados a cada quinze minutos, entre 7h e 8h, 10h e 11h, 13h e 14h, e 16h e 17h. Foram considerados também os registros de uma estação meteorológica fixa, na época localizada da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, localizada no espigão da Av. Dr. Arnaldo, a 2,7 km ao Sul da área em estudo. A seguir, serão discutidos os procedimentos para a coleta e tratamento das variáveis consideradas.

2.1 Temperatura e umidade do ar

A temperatura do ar que envolve o corpo humano é um parâmetro que pode ser medido por vários métodos, dependendo do sensor utilizado, cuja temperatura pode diferir da temperatura do meio devido a efeitos radiativos. Assim, deve-se proteger o sensor da radiação sem comprometer a circulação de ar ao seu redor. A norma ISO 7726 (1998) aconselha três providências para diminuir o efeito da radiação:



Figura 2: Detalhe dos pontos e transectos em estudo.

reduzir o fator de emissão do sensor, polindo-o quando for metálico ou utilizando-se tinta reflexiva quando não for; reduzir a diferença de temperatura entre o sensor e o meio circundante por meio da distribuição de superfícies refletivas com espessura de 0,1mm a 0,2mm; aumentar o coeficiente de transferência de calor por convecção, aumentando mecanicamente a velocidade do ar em torno do sensor e/ou reduzindo o tamanho do sensor. Nos levantamentos realizados, foram utilizados termo-higrômetros digitais, utilizando para comparação um equipamento aferido, com certificado de calibração. Os sensores foram protegidos da radiação solar direta, por meio de copos plásticos (poliestireno) revestidos de uma película de papel alumínio (face mais reflexiva na parte exterior) e com perfurações para circulação de ar. Foram instalados a uma altura aproximada de 1m. A adoção da solução de proteção com o uso de copo plástico revestido e perfurado deve ser mais bem testada, sendo recomendável a adoção de soluções mais específicas para proteção contra radiação direta, conforme a norma ISO 7726 (1998). Nos levantamentos, os sensores utilizados para determinação da temperatura do ar são do tipo semiconductor. A faixa de leitura é de -20 °C a +60 °C, com resolução de 0,1 °C, precisão de ± 0,4 °C e tempo de resposta de 0,1 °C/s. Os sensores para determinação de umidade são de capacitância, obtendo-se a umidade relativa. A faixa de leitura é de 10% a 95%, com resolução de 0,1%, precisão de ± 3% (a 25 °C, entre 30% e 95%) e ± 5% (a 25 °C, entre 10% e 30%) e tempo de resposta de 3 minutos para mudança de 45% a 95% e de 5 minutos para o inverso. A partir da umidade relativa (ur) e da temperatura do ar (t_{ar}), obtêm-se a pressão parcial de vapor (p_v), que é a pressão que o vapor exerceria se sozinho ocupasse o volume ocupado pelo ar úmido na mesma temperatura. Assim, considerando-se um gás perfeito, pode-se determinar a pressão parcial de vapor a partir de valores de umidade relativa e de temperatura do ar.

$$p_v = 6,112 \cdot 10^{[7.5 t_{ar} / (237,7 + t_{ar})]} \cdot 0,01 ur \quad [Eq.01]$$

2.2 Velocidade do ar

A velocidade do ar é uma variável descrita por sua magnitude e direção/sentido. A norma ISO 7726 (1998) aponta para a necessidade da consideração da direção do fluxo e da flutuação da velocidade e da obtenção da velocidade média e desvio padrão durante um certo período de tempo. Os anemômetros de hélice utilizados possuem sensores que apresentam faixa de leitura de 0,4 a 30m/s, com resolução de 0,1m/s, e precisão de ± 2%+d, sendo d o valor observado. O registro dos dados foi feito de dez em dez segundos durante um minuto, a cada quinze minutos. Como os sensores de hélice utilizados são direcionais e com sentido determinado, o ideal seria o emprego de quatro sensores, orientados para norte, sul, leste e oeste, em cada ponto de medição. Os sensores registram corretamente a magnitude da

velocidade do ar na direção e sentido corretos, sendo que o sensor na direção correta e sentido oposto realiza uma leitura abaixo do real, devido à aerodinâmica da hélice. Desta forma, para a anotação dos dados, seriam considerados apenas o maior valor encontrado entre as leituras de norte e sul e entre as leituras de leste e oeste, indicando ainda quais foram as direções e os sentidos dominantes. Contudo, devido à limitação no número de sensores disponíveis, foi necessária a utilização de apenas um sensor por ponto. Aferiu-se a orientação do vento por meio de uma fita presa a uma bússola, que indica a direção deste, orientando-se assim o sensor no sentido do fluxo, registrando-se então a leitura do valor verificado para a velocidade do vento e ainda a direção do mesmo, por meio de bússola e posterior correção da declinação magnética. A velocidade do ar (v_{ar}) a ser considerada é a média aritmética das velocidades instantâneas obtidas de dez em dez segundos ao longo de um minuto. Para considerar a flutuação da velocidade, determina-se o desvio padrão da amostra, onde: dp = desvio padrão; n = número de medições instantâneas, com Σ de $i = 1$ até $i = n$. O cálculo da intensidade da turbulência (it) é dado em porcentagem.

$$dp = [1/(n-1)]^{1/2} \cdot \Sigma_{i=1}^n (v_{ar,i} - v_{ar})^2 \quad [\text{Eq.02}]$$

$$it = 100 \cdot dp/v_{ar} \quad [\text{Eq.03}]$$

2.3 Radiação Solar

A Figura 3 traz o fator de visão de céu e ilustrativamente as condições de nebulosidade para um dado horário, para os pontos em estudo.

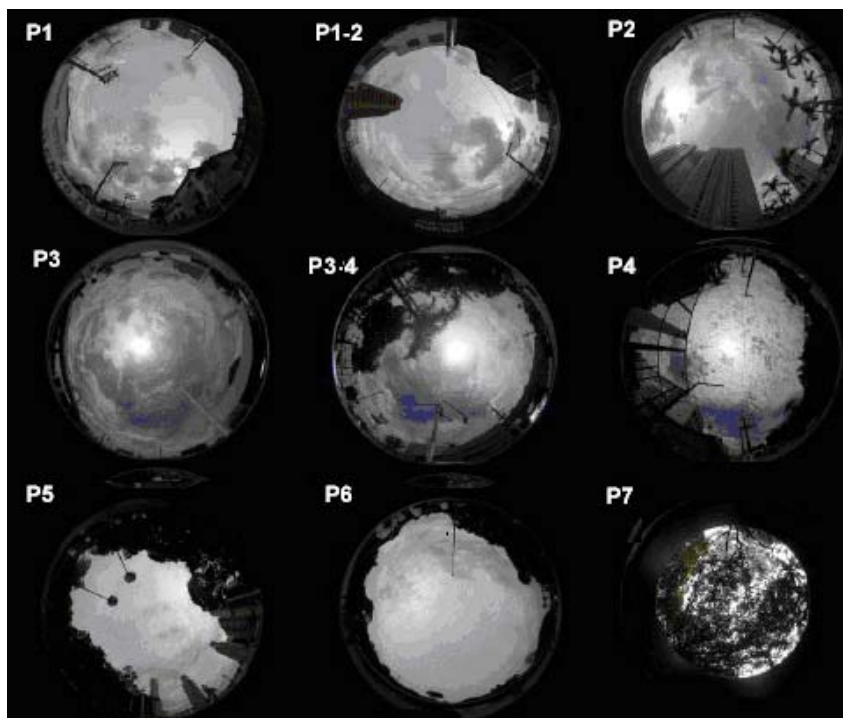


Figura 3: Fator de visão de céu e condições de nebulosidade para os pontos em estudo.

Para a determinação da radiação solar (R_c), que será absorvida pelo corpo, utilizou-se Blazejczyk (2002), que estima a mesma por meio da altura solar (h) e da nebulosidade (N), sendo $0 \leq N \leq 1$. A variável a' é função do albedo (a) do conjunto pele/roupa. Adotou-se albedo igual a 0,5.

$$h \leq 4^\circ: R_c = 1,4 a' \cdot (1,388 + 0,215 h)^2 \quad [\text{Eq.04}]$$

$$h > 4^\circ \text{ e } N \leq 0,20: R_c = 1,4 a' \cdot (-100,428 + 73,981 \ln(h)) \quad [\text{Eq.05}]$$

$$h > 4^\circ \text{ e } N = 0,21-0,50: R_c = 1,4 a' \cdot \exp(5,383 - 16,072 / h) \quad [\text{Eq.06}]$$

$$h > 4^\circ \text{ e } N = 0,51-0,80: R_c = 1,4 a' \cdot \exp(5,012 - 11,805 / h) \quad [\text{Eq.07}]$$

$$h > 4^\circ \text{ e } N > 0,80: R_c = a' 0,9506 \cdot h^{1,039} \quad [\text{Eq.08}]$$

$$a' = 1 - 0,01 \cdot a \quad [\text{Eq.09}]$$

2.4 Resultados do levantamento empírico

A Figura 4 traz de forma resumida os resultados do levantamento empírico e subsequente tratamento dos dados obtidos. Esses resultados serão utilizados para realização de simulações preditivas.

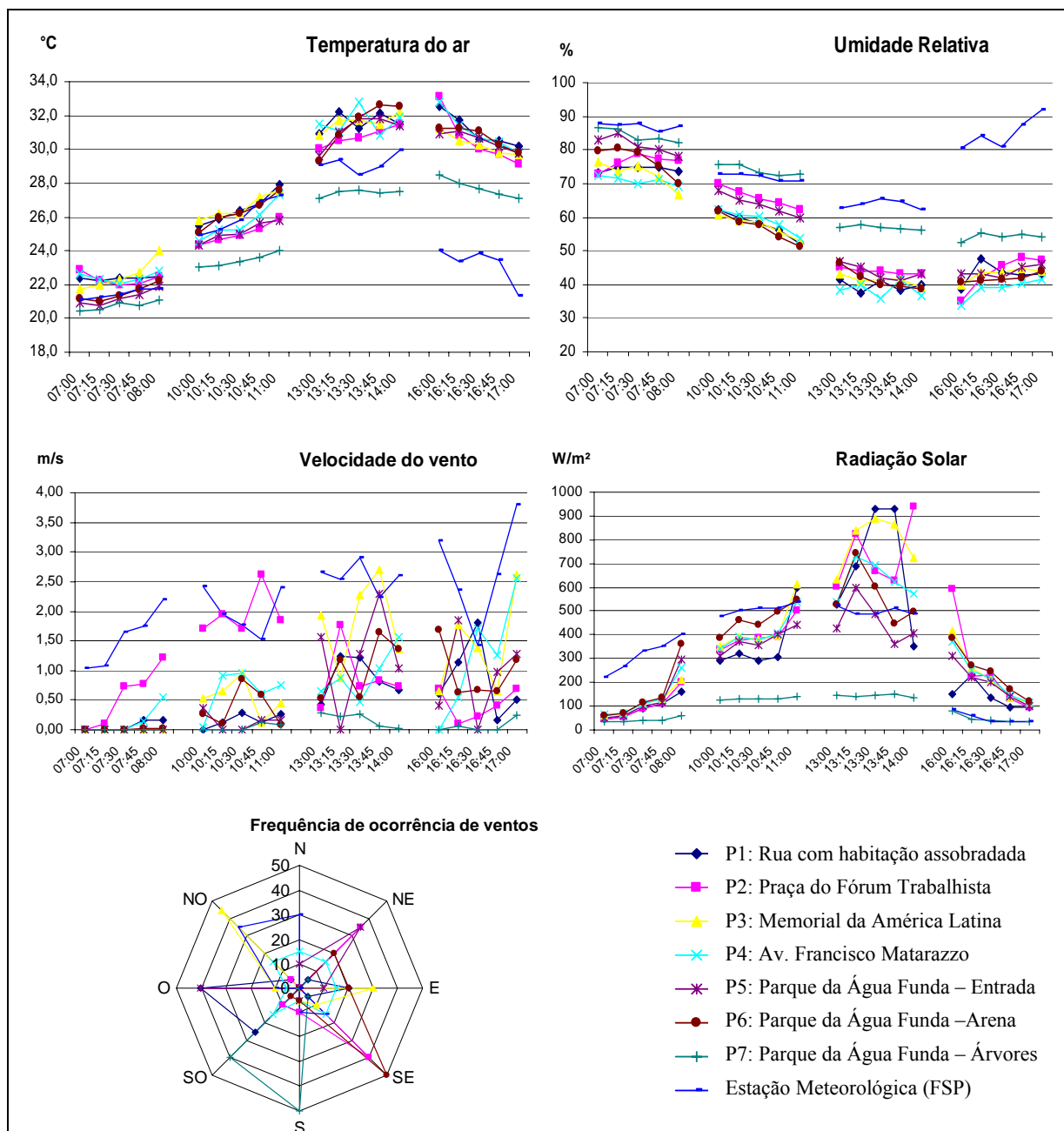


Figura 4: Dados verificados nos sete pontos em estudo e na Estação Meteorológica.

3. SIMULAÇÕES

Para a realização das simulações computacionais, adotou-se o balanço termo-fisiológico do corpo humano, que pode genericamente ser assim representado:

$$S = M - W + L + R_c + C + E_{sk} + Res \quad [\text{Eq.10}]$$

Onde: S = calor acumulado no corpo, M = taxa metabólica, W = trabalho mecânico, L = troca de calor por onda longa, R_c = ganho de calor por onda curta, C = troca de calor por convecção, E_{sk} = perda de calor por evaporação, Res = perda de calor pela respiração, sendo todas as variáveis em $[\text{W}/\text{m}^2]$.

Nesta pesquisa adotou-se um valor de taxa metabólica $M=130\text{W/m}^2$ e trabalho mecânico $W=0\text{W/m}^2$, equivalente a caminhar a 1 m/s (3,6km/h) em terreno plano (ISO 8996, 1990). Com relação à vestimenta, adotou-se um isolamento térmico $I_{cl}=0,5$, equivalente a calças leves, camiseta de manga curta, roupa íntima e calçados leves (ISO 9920, 1995).

Nos subitens a seguir, serão considerados os cálculos de: (1) temperatura radiante média (trm), variável comumente considerada para a realização do balanço, assim com para verificação da ambiência térmica, (2) temperatura superficial da pele, necessária para a realização do balanço e também um índice para verificação da adequação do organismo ao ambiente térmico, (3) índice de carga térmica, para efetiva avaliação das condições térmicas dos ambientes externos em estudo.

3.1 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média (trm) é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação do corpo humano é igual à troca de calor por radiação num ambiente real não uniforme (ASHRAE, 2001). Pode ser calculada por meio de procedimentos baseados em termômetro de globo, em radiômetro de 2 esferas, em sensor com temperatura constante ou por meio da temperatura superficial e fatores de ângulo. Nesta pesquisa, a temperatura radiante média foi calculada por meio do balanço das trocas radiativas térmicas do corpo com o fundo de céu (L_c) e com o piso (L_p), considerando-se ainda a exposição à radiação solar (R_c). Para determinação da temperatura do piso (T_p), utilizou-se a temperatura ar-sol, que pode ser definida como a temperatura superficial externa teórica que produz os mesmos efeitos térmicos no elemento que a combinação de condições de temperatura do ar externo e radiação térmica incidente.

$$trm = [(R_c + 0,5 L_c + 0,5 L_p) / (0,95 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8})]^{0,25} - 273 \quad [\text{Eq.10}]$$

$$L_c = 5,5 \cdot 10^{-8} (273 + t)^4 [0,82 - 0,25 \cdot 10^{-(0,094 \cdot 0,75 v_p)}] \quad [\text{Eq.11}]$$

$$L_p = 5,5 \cdot 10^{-8} (273 + T_p)^4 \quad [\text{Eq.12}]$$

3.2 Temperatura superficial da pele

Para o cálculo da temperatura superficial da pele, utilizou-se a equação proposta por Blazejczyk (2004):

$$T_s = (26,4 + 0,02138 Trm + 0,2095 t - 0,0185 ur - 0,009 v) + 0,6 (I_{cl} - 1) + 0,00128 M \quad [\text{Eq.13}]$$

3.3 Índice de Carga Térmica (Heat Load)

Blazejczyk (2002) propõe o modelo MENEX (Man-ENVironment heat EXchange model), que utiliza o balanço térmico do corpo humano, já apresentado no início deste tópico. As peculiaridades do modelo são o cálculo das perdas por radiação de onda longa pela pele, considerando-se uma ponderação devida à nebulosidade, e o cálculo de radiação solar por meio de modelos específicos. Para o cálculo de radiação solar foram realizadas pesquisas empíricas e o referido autor estabeleceu três modelos, em função da disponibilidade de dados de radiação solar. Assim, o primeiro modelo considera a radiação solar direta, difusa e refletida; o segundo considera a radiação solar global; e o terceiro é utilizado quando não se têm dados de radiação solar. Os três modelos consideram a altitude solar, a resistência térmica da roupa e o albedo ponderado da pele e da roupa, apresentando equações diferenciadas em função da altitude solar. Nesta pesquisa, utilizou-se o terceiro modelo, conforme já apresentado; os demais modelos podem ser encontrados em Blazejczyk (2004). Para avaliação dos resultados, o autor propõe critério baseado no conceito de carga térmica (HL), que é avaliada em função de: calor acumulado (S), radiação solar absorvida (R_c) e perdas evaporativas pela pele (E_{sk}).

$$S \leq 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} \geq -50 \text{ W/m}^2 \quad HL = [(S + 360) / 360]^{[2 - 1/(1+R_c)]} \quad [\text{Eq.14}]$$

$$S > 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} \geq -50 \text{ W/m}^2 \quad HL = [(S + 360) / 360]^{[2 + 1/(1+R_c)]} \quad [\text{Eq.15}]$$

$$S \leq 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} < -50 \text{ W/m}^2 \quad HL = (E_{sk}/-50) \cdot [(S + 360) / 360]^{[2 - 1/(1+R_c)]} \quad [\text{Eq.16}]$$

$$S > 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} < -50 \text{ W/m}^2 \quad HL = (E_{sk}/-50) \cdot [(S + 360) / 360]^{[2 + 1/(1+R_c)]} \quad [\text{Eq.17}]$$

3.4 Resultados das simulações

A Figura 5 apresenta os resultados das simulações, apresentando os valores de temperatura média radiante, de temperatura da pele e do índice de carga térmica para cada um dos pontos em estudo.

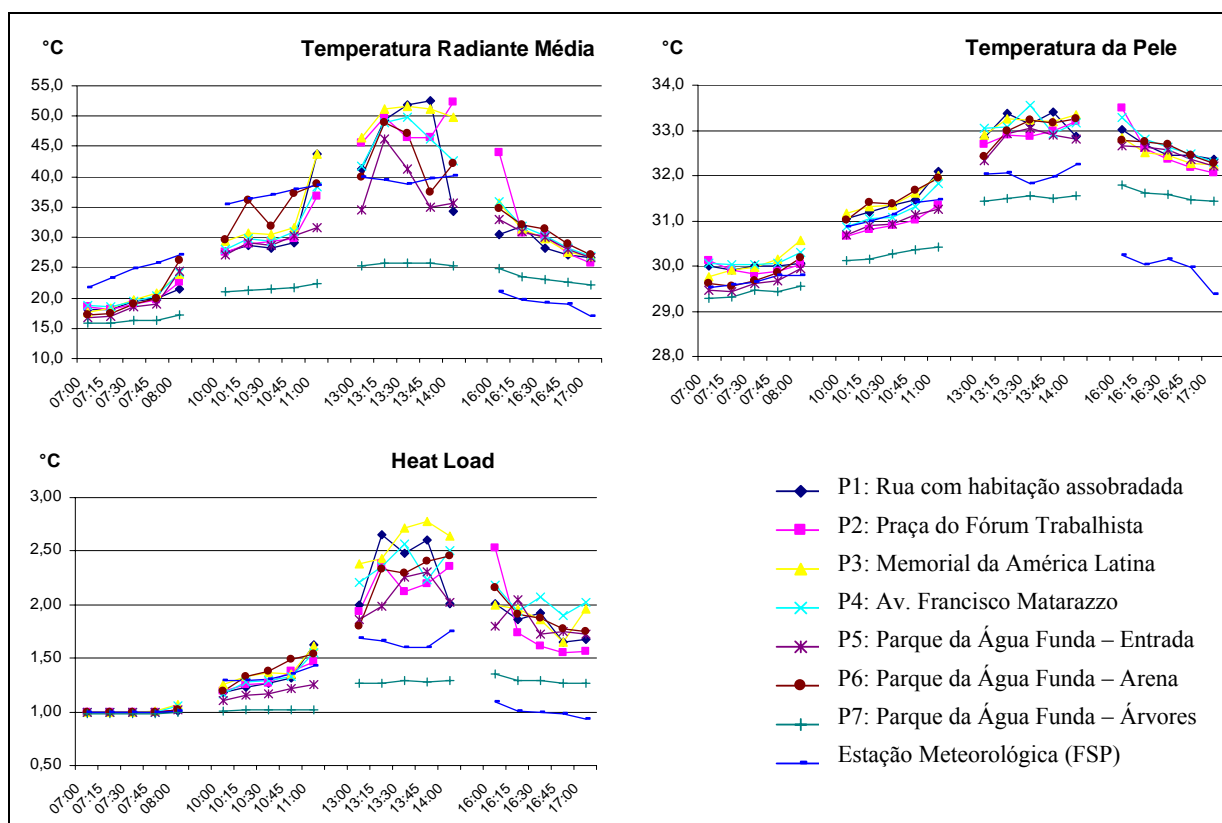


Figura 5: Valores calculados para os sete pontos em estudo e para a Estação Meteorológica.

4. VERIFICAÇÃO E CALIBRAÇÃO EMPÍRICA

Monteiro e Alucci (2006) apresentam estudo de verificação comparativa empírica de diversos modelos e índices de conforto térmico em espaços abertos. Um dos índices que apresentou melhor desempenho foi exatamente o Heat Load (correlações de 0,88 para o parâmetro do modelo e 0,83 para a interpretação do índice). Os autores observam que os valores do índice apresentaram correlação bem mais significativa que os demais, ainda que a de sua interpretação esteja muito próxima a de outros índices. Contudo, dado que os valores do índice apresentam correlação bem mais elevada, é possível melhorar a correlação de suas respostas propondo-se novas faixas de interpretação para seus valores. Os mesmo autores (2007) apresentam resultados de pesquisa em que se propuseram novas faixas interpretativas, tendo como base o resultado de levantamentos empíricos realizados na cidade de São Paulo em mais de 70 situações microclimáticas distintas com a aplicação de 2000 questionários. Devido à existência dessa verificação do modelo, e de calibração para população adaptada às condições climáticas de São Paulo, optou-se por sua adoção como critério de interpretação para avaliação dos resultados desta pesquisa. A tabela 1 mostra a classificação original do índice (Blazejczyk, 2002) e a calibração proposta por Monteiro e Alucci (2007). Utilizou-se aqui esta última, por apresentar base empírica estabelecida em São Paulo.

Tabela 1: HL (Blazejczyk, 2002) e calibrações proposta por Monteiro e Alucci (2007).

HL	Classificação	Calibração	Sensação
$\geq 1,600$	Estresse elevado por calor	$\geq 1,65$	muito calor
1,186 - 1,600	Estresse moderado calor	1,23 - 1,65	calor
0,931 - 1,185	Neutralidade térmica	0,88 - 1,08	neutra
0,811 - 0,930	Estresse moderado por frio	0,72 - 0,88	pouco frio
$\leq 0,810$	Estresse elevado por frio	0,65 - 0,72	frio
		$\leq 0,65$	muito frio

Outros índices, verificados e calibrados por Monteiro e Alucci (2007), que também apresentaram resultados satisfatórios, poderiam ter sido aqui utilizados; contudo, se optou-se pela utilização do Heat Load, uma vez que os dados de entrada disponíveis eram suficientes para a utilização do índice e os dados faltantes puderam ser estimados pela sua própria modelagem.

5. RESULTADOS FINAIS

A Figura 6 apresenta os resultados finais desta pesquisa, considerando-se as sensações térmicas ao longo do dia para cada um dos locais de estudo.

HL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Estação
07:00	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra
07:15	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra
07:30	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra
07:45	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra
08:00	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra	neutra
10:00	pouco calor	pouco calor	calor	pouco calor	pouco calor	pouco calor	neutra	calor
10:15	calor	calor	calor	calor	pouco calor	calor	neutra	calor
10:30	calor	calor	calor	calor	pouco calor	calor	neutra	calor
10:45	calor	calor	calor	calor	pouco calor	calor	neutra	calor
11:00	calor	calor	calor	calor	calor	calor	neutra	calor
13:00	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	muito calor
13:15	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	muito calor
13:30	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	calor
13:45	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	calor
14:00	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	calor
16:00	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	pouco calor
16:15	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	neutra
16:30	muito calor	calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	neutra
16:45	calor	calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	neutra
17:00	calor	calor	muito calor	muito calor	muito calor	muito calor	calor	neutra

Figura 6: Resultados finais de sensação térmica para os sete pontos em estudo e para a Estação Meteorológica.

Conforme pode ser observado na Figura 6, no primeiro horário de medição, das 7h às 8 horas, todos os locais em estudo apresentam desempenhos semelhantes, propiciando sensações térmicas de neutralidade (na figura 5, observa-se que todos os pontos apresentam valores de carga térmica próximos à unidade).

Já no segundo horário de medição, das 10h às 11h, observa-se a passagem da sensação predominante de “pouco calor”, às 10h, para a preponderância da sensação de calor, até às 11h. Duas exceções devem ser observadas, ambas no Parque da Água Funda: o ponto P7, sob árvores, e o ponto P5, na entrada do parque. No caso de P7, devido ao denso sombreamento, conforme pode ser verificado na Figura 3, tem-se um fator de visão de céu menor, propiciando situações de neutralidade durante todo o segundo horário de medição. Já no caso de P5, observa-se a persistência de sensação de “pouco calor” até às 10:45h. Neste caso, a condição microclimática mais amena é obtida graças também a um relativo menor fator de visão de céu, quando comparado aos demais pontos, e à proximidade da vegetação densa do parque.

O terceiro horário de medições, das 13h às 14h, apresenta situações de “muito calor” em todos os pontos, exceto em P7, onde se verifica apenas “calor”. Com relação a P5, apesar de apresentar menor fator de visão de céu, as obstruções localizam-se apenas próximas ao horizonte; desta forma, conforme se verificou, já às 11h apresenta desempenho semelhante ao restante dos pontos, com exceção de P7. Nesse ponto, tem-se o melhor desempenho graças ao sombreamento das árvores, que possibilitam não apenas o bloqueio de grande parte da radiação solar incidente, como também, conseqüentemente, razoável estabilidade da temperatura do ar, pela condição de ‘oásis’ existente no parque.

No último horário de medições, das 16h às 17h, verifica-se predominância da sensação de “muito calor”, exceto novamente em P7, em que se mantém a sensação de “calor” pelas mesmas razões já explicitadas. Vale destacar aqui resultados diferenciados em P2 (Praça do Fórum Trabalhista) e P1 (rua com habitação assobradada). A partir, respectivamente, das 16:30h e 16:45h, observa-se uma amenização das condições microclimáticas, propiciando sensações apenas de “calor”. Observando-se a Figura 1, tem-se que estes pontos estão relativamente deslocados dos demais, inseridos em um tecido urbano mais uniforme, constituído por uma ocupação horizontal com alguns edifícios mais altos esparsos. Os demais pontos situam-se em áreas pouco edificadas, porém bastante áridas devido à extensa pavimentação e ausência de vegetação (P3 e P4) ou em áreas do Parque (P5, P6 e P7).

Conforme se vê a seguir, na consideração dos dados registrados pela Estação Meteorológica da Faculdade de Saúde Pública, a diferença nos resultados de P1 e P2 pode dever-se também às mudanças climáticas que ocorreram ao longo do dia. Talvez os resultados encontrados para P1 e P2 devam-se ao fato de estarem mais expostos, com grandes áreas pavimentadas, em contraposição ao Parque, que está protegido por densa vegetação. De qualquer forma, P3 também é bastante exposto, mas não se verificou a mesma diferença, acompanhando os resultados de P4, P5 e P6 que não são tão expostos. Vale mencionar que medições para o período das 19h às 20h estavam programadas, mas não ocorreram devido à instabilidade climática. Essas afirmações levam em conta a consideração plausível, apoiada pelos dados registrados, de que a instabilidade chegou primeiramente à estação meteorológica para somente depois chegar aos pontos de medição.

Dados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia em São Paulo, que fica no Mirante de Santana, ao norte da área de estudo, após a travessia do Rio Tietê, fornecem informações acerca dos períodos anteriores e concomitantes ao levantamento. A evolução dos campos de temperatura do ar e umidade relativa entre a tarde de 17/11/05, a manhã e a tarde de 18/11/05, indica a passagem de uma frente fria no oceano, próxima ao litoral do sudeste do Brasil, associada a áreas de instabilidade sobre o continente. Esse sistema avançou sobre a cidade de São Paulo entre a tarde do dia 17 e a manhã do dia 18. Na tarde desse dia, a cidade já estava sob uma situação pós-frontal, porém sem a presença de uma massa de ar fria significativa. Devido à ausência do ar frio, ao rápido aquecimento característico da época do ano e à disponibilidade de umidade no ar, houve a formação de áreas de instabilidade no fim da tarde, mesmo em uma situação pós-frontal, porém de pouca estabilidade. Essas áreas de instabilidade geraram precipitação acompanhada de intensificação dos ventos. Conforme já mencionado, na região em estudo não ocorreram medições programadas após as 17h, uma vez que entre esse horário e as 18h já chovia em todos os pontos em estudo.

Considerando-se agora especificamente os resultados encontrados para os dados da estação meteorológica da Faculdade de Saúde Pública, verifica-se que, ao longo do primeiro período, entre 7h e 8h, têm-se sensações térmicas de neutralidade, em concordância com todos os demais resultados. Isso demonstra que, na ausência de radiação solar, os resultados registrados na estação meteorológica parecem ser bastante representativos das condições gerais das diferentes localidades estudadas.

Ao longo do segundo período, verificam-se sensações térmicas de calor, também condizentes com os resultados gerais do período para os diversos pontos. Ressalvam-se aqui os pontos P5 e P7 que apresentam menores valores de fator de visão de céu, respectivamente por apresentarem maior área edificada verticalizada e sombreamento por árvores de copas mais densas. Vale ressaltar ainda que na primeira medição do segundo horário, o resultado predominante foi de “pouco calor”, enquanto a estação meteorológica apresentava “calor”. Esse fato pode ser decorrente dos diversos pontos apresentarem algum bloqueio à radiação solar no começo da manhã, devido às edificações do entorno, enquanto a estação meteorológica, localizada no espigão ao longo da Av. Dr. Arnaldo, sem obstruções no entorno, recebe toda a radiação solar. Essa consideração é corroborada pelo fato de que o ponto P3, no memorial da América Latina, apresenta já nessa primeira medição do segundo horário resultado de “calor”, sendo este ponto o que apresenta maior fator de visão de céu, apresentando praticamente nenhuma obstrução e superfície pavimentada.

Com relação ao terceiro período, entre as 13h e 14h, verifica-se que as duas primeiras medições da estação resultam em sensações de “muito calor”, enquanto nas demais se tem “calor”. Com exceção de P7, que apresenta ampla cobertura arbórea, todos os demais pontos mantiveram resultados de “muito calor” para todo o terceiro período. Devemos considerar aí duas questões: primeiramente, conforme argumentado, a instabilidade climática passou primeiramente pela estação meteorológica. Em segundo lugar, deve-se considerar que a área edificada da Barra Funda, ainda que não seja densa, é quase que totalmente pavimentada, apresentando alta capacidade térmica, prolongando assim o período de “muito calor”.

Finalmente, no último período de medições, das 16h às 17h, verifica-se o primeiro registro da estação resultando em “pouco calor” e os demais em neutralidade. Verifica-se aqui a mesma tendência apontada no parágrafo anterior. Enquanto os dados da estação já registravam a instabilidade climática, essa só chegou posteriormente à região em estudo, conforme já colocado. Se tivesse sido possível realizar as medições de mais um período, provavelmente seriam observados resultados consecutivamente de “calor”, “pouco calor” e “neutralidade” para os diversos pontos, acompanhando, com diferentes defasagens temporais devidas à localização geográfica e inércia térmica local, os resultados da estação meteorológica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferenças nos resultados finais das diversas localidades foram observadas, apontando para possíveis relações entre diferentes morfologias e efeitos da vegetação no microclima local e os resultados em termos de adequação ambiental às sensações térmicas da população aclimatada. Os resultados encontrados e as observações tecidas apontam para a relevância da consideração do desenho urbano e do tratamento local de espaços abertos para a constituição de ambientes externos termicamente satisfatórios, propiciando condições adequadas de uso dos espaços urbanos da cidade.

Verificou-se que soluções de adensamento construtivo possivelmente permitiriam maiores períodos em conforto em situações quentes, pela diminuição do fator de visão de céu e conseqüente sombreamento da área, e que a utilização de áreas verdes densas apresenta resultados ainda mais significativos, pelo impacto do sombreamento e da evapotranspiração na sensação de conforto térmico. Em ambientes urbanos parece adequada a utilização de áreas verdes conjugadas ao adensamento, não apenas nas vias, mas também formando “pocket parks”, que somariam as vantagens do adensamento construtivo aos do efeito benéficos da vegetação.

Na continuidade desta pesquisa, têm-se duas linhas em desenvolvimento, que serão objeto de trabalhos futuros. Primeiramente um detalhamento da análise de adequação térmica aqui realizada, por meio de verificação entre os resultados do índice original e calibrado, uma análise detalhada da influência da radiação e da ventilação nas condições microclimáticas verificadas, e uma aplicação comparativa do modelo adaptativo. Finalmente, as diversas questões levantadas e em desenvolvimento podem ser testadas em propostas de intervenção, contribuindo assim para possíveis remodelagens de desenho urbano e para a ocupação de grandes áreas ainda desocupadas nas proximidades da região em estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (2001) “Fundamentals Handbook”. American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof. (2002) “Assessment of recreational potential of bioclimate”. in: International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, 1, 2001, Greece. ISB, p. 133-52.
- _____. (2004) “Man-environment heat exchange model”. <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/menex.ppt>. Acesso realizado em 24/04/2004.
- DUARTE, D; GONÇALVES, J. (2006) Environment and Urbanization: Microclimatic Variations in a Brownfield Site in Sao Paulo, Brazil. The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. In: *Proceedings...* Geneva: PLEA, September 2006.
- ISO (1998). “ISO 7726. Ergonomics: instruments for measuring quantities”. ISO, Genève, Switzerland.
- _____. (1995). “ISO 9920. Ergonomics of the thermal environment: estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble”. ISO, Genève, Switzerland.
- _____. (1990). “ISO 8996. Ergonomics: metabolic heat production”. ISO, Genève, Switzerland.
- MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. (2007) Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1 e 2. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. In: *Anais...* Maceió: ENCAC, agosto de 2007. (em avaliação)
- _____. (2006) Verificação comparativa experimental da aplicabilidade de diferentes modelos preditivos de conforto térmico. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. In: *Anais...* Florianópolis: ANTAC, agosto de 2006.
- São Paulo (1995). Prefeitura Municipal de São Paulo. “Lei 11.774/95”. Operação Urbana Água Branca.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os pós-graduandos que colaboraram nos levantamentos de campo: Anarrita Buoro, Anderson Nedel, Anna Miana, Antonio Machado, Carolina Leite, Daniel Cóstola, Érica Umakoshi, José Ramos, Juliano Beraldo, Marcos Yamanaka, Mônica Marcondes, Paula Shinzato, Rafael Brandão e Sabrina Agostini. Agradecemos ao Prof. Koen Stemeers do The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, e à Prof. Susannah Hagan, da University of East London, pelas discussões que precederam esta pesquisa em encontros financiados pela British Academy. Finalmente, agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro a esta pesquisa.