

94 - Conforto Térmico Urbano: o Caso do Bairro Austin, em Nova Iguaçu - RJ

Urban Thermal Comfort: the Case of Austin Neighbourhood, Nova Iguaçu, - RJ

MONTEIRO, Leonardo Marques (1); GONÇALVES, Joana (2); ALUCCI, Márcia Peinado (3)

(1) Doutorando da FAUUSP, leo4mm@gmail.com

(2) Prof. Dra. do Depto. de Tecnologia da FAUUSP, joarch@usp.br

(3) Prof. Dra. do Depto. de Tecnologia da FAUUSP, marcialu@usp.br

Rua do Lago, 876 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – Brasil – Tel +55 11 3091-4538 r.208

Resumo

Este artigo constitui-se de material resultante de consultoria de conforto térmico em espaços urbanos realizada para o desenvolvimento de projeto de reurbanização de Austin, um bairro periférico na cidade de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro. O objetivo é a avaliação do conforto térmico em espaços abertos do referido projeto, utilizando-se os resultados encontrados para a realização de diretrizes e recomendações projetuais. O método empregado centra-se em modelagem adaptativa híbrida baseada no índice de temperatura neutra exterior (Aroztegui, 1995) corrigido por meio da formulação da nova temperatura efetiva (ASHRAE, 2005). Utilizou-se base de dados de estação meteorológica (IAG-USP, 2006), estimando-se a radiação solar por meio da interpolação tridimensional de distância inversa de Shepard (Zelenka et al., 1992). A contribuição deste trabalho é proporcionar um método de avaliação de conforto térmico para estabelecimento de estratégias de intervenção em espaços urbanos e verificação do método por meio de estudo de caso.

Palavras-chave: Conforto Térmico em Espaços Urbanos; Métodos de Avaliação de Conforto Térmico Urbano.

Abstract

This paper consists of the results of a consultant project on thermal comfort concerning the urban spaces of the revitalization project of Austin, a periphery neighborhood in the city of Nova Iguaçu, in Rio de Janeiro. The objective is the assessment of outdoor thermal comfort of such revitalization project, using the results found for the projectual recommendations. The method used focus on a hybrid adaptive model based on exterior neutral temperature index (Aroztegui, 1995) corrected by means of the formulation of the new effective temperature (ASHRAE, 2005). Data base from meteorological station (IAG-USP, 2006) was used, estimating solar ration considering Shepard's inverse distance tridimensional interpolation (Zelenka et al., 1992). The contribution of this research is proposing a thermal comfort assessment method in order to establish design strategies to urban spaces and a verification method by means of a case study.

Keywords: Thermal Comfort in Urban Spaces; Methods for the Evaluation of Urban Thermal Control.

Introdução

Este trabalho constitui-se de consultoria de conforto ambiental em espaços urbanos realizada para o desenvolvimento de projeto de reurbanização de Austin, em Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro. Será aqui descrito o processo de avaliação de conforto para os ambientes externos do referido projeto, considerando os métodos utilizados e a base de dados climáticos estabelecida. Ao final, apresentam-se então os resultados, discutindo-os para o estabelecimento de recomendações de projeto.

Métodos

Para uma primeira consideração a respeito do efeito do sombreamento e da ventilação no conforto térmico em áreas externas, utilizou-se inicialmente o índice de Temperatura Neutra Exterior, proposto por Aroztegui (1995), o qual toma como referência o trabalho de Humphreys (1978), que propôs o conceito de Temperatura Neutra (T_n). Humphreys (1978) define Temperatura Neutra (t_n) como sendo a temperatura ambiente considerada termicamente neutra pela população, em função das condições térmicas locais. O autor apresenta uma relação linear, válida para ambientes interiores, verificada entre a temperatura média mensal (t_{mm}) e a Temperatura Neutra (t_n), em situações onde a velocidade do ar é baixa e a temperatura radiante média (t_{rm}) é próxima à temperatura do ar. Assim, tem-se:

$$t_n = 17,6 + 0,31 \cdot t_{mm} \quad \text{Equação 01}$$

onde: t_n = Temperatura Neutra ($^{\circ}\text{C}$), t_{mm} = temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$)

A equação acima é válida para valores entre $18,5^{\circ}\text{C}$ e $30,5^{\circ}\text{C}$ e para indivíduos em atividade sedentária, usando roupas leves. Para outras atividades podem-se adotar as seguintes correções: para trabalho leve ($M=210\text{W}$), menos 2°C ; para trabalho moderado ($M=300\text{W}$), menos $4,5^{\circ}\text{C}$; para trabalho pesado ($M=400\text{W}$), menos 7°C .

Aroztegui (1995) propõe a Temperatura Neutra Exterior definida com base nas mesmas variáveis que compõem a Temperatura Neutra Interna (definida anteriormente por Humphreys) e incorporando também variáveis relativas à radiação solar e à velocidade do vento. Com relação a estas variáveis, o autor coloca que a primeira, em teoria, deve reunir não apenas a radiação direta do sol, mas também o aspecto do céu e as reflexões do entorno. Com relação à segunda, coloca que ela é afetada no espaço e no tempo por “acidentes aleatórios” no nível do pedestre. Assim, afirma que estas variáveis são de difícil apreciação, sendo, dessa forma, necessário adotar determinadas simplificações. Assim, baseando-se no Índice de Estresse Térmico (I.T.S.) de Givoni (1981), o autor propõe uma equação empírica que considera as variáveis características do exterior com relação à temperatura neutra interior. Para uma taxa de sudorese em atividade sedentária e adotando-se condições médias para as características do indivíduo e do entorno (com umidade relativa entre 35% e 65%), foi determinada a equação da Temperatura Neutra Exterior:

$$t_{ne} = 3,6 + 0,31 t_{mm} + \{100 + 0,1 R_{dn} (1 - 0,52 (v^{0,2} - 0,88))\} / 11,6 v^{0,3} \quad \text{Equação 02}$$

onde: t_{ne} = Temperatura Neutra Exterior ($^{\circ}\text{C}$); t_{mm} = temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$); R_{dn} = radiação solar direta normal (W/m^2); v = velocidade do ar (m/s).

A Temperatura Neutra Exterior é calculada para uma temperatura média mensal, corrigida para uma umidade relativa do ar de 50%. Sendo assim, neste trabalho, utilizou-se a formulação da Nova Temperatura Efetiva para a correção dos valores de temperatura média mensal para um valor equivalente ao de uma situação com 50% de umidade relativa (tendo como base a variação de temperatura resultante da variação da umidade relativa). Segundo a ASRHAE 55 (1992), a Nova Temperatura Efetiva (TE^*) é a temperatura operativa de um ambiente a 50% de umidade relativa do ar, que causaria as mesmas trocas de calor

sensível e latente que as experimentadas pelo usuário no ambiente em estudo, e é calculada pela equação abaixo (ASHRAE, 1997):

$$TE^* = t_o + w \cdot I_m \cdot LR \cdot (p_a - 0,5 \cdot p_{s_{TE^*}}) \quad \text{Equação 03}$$

onde: t_o = temperatura operativa ($^{\circ}\text{C}$); w = fração de pele úmida (adimensional); I_m = índice de permeabilidade da roupa à umidade (adimensional); LR = relação de Lewis; p_a = pressão de vapor (kPa); $p_{s_{TE^*}}$ = pressão de saturação na Nova Temperatura Efetiva (kPa)

A temperatura operativa (t_o) é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual um ocupante apresentaria as mesmas trocas térmicas radiantes e convectivas que ele apresenta no ambiente não uniforme real. Numericamente, é a média entre a temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e a temperatura média radiante (t_{rm}), ponderada pelos respectivos coeficientes de troca térmica (h_c e h_r). A ASHRAE (1997) apresenta a equação:

$$t_o = h_r \cdot t_{rm} + h_c \cdot t_{bs} / (h_r + h_c) \quad \text{Equação 04}$$

onde: t_{rm} = temperatura média radiante ($^{\circ}\text{C}$); t_{bs} = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$); h_r = coeficiente de troca radiativa; h_c = coeficiente de troca convectiva ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$).

Neste trabalho, para o cálculo de TE^* , assumiu-se, utilizando o proposto por Szokolay (2004), que a temperatura efetiva é dada por retas na carta psicrométrica, passando pelo ponto onde a umidade relativa corresponde a 50% para aquela temperatura. A inclinação dessas retas é igual a:

$$0,023 \cdot (TE^* - 14), \text{ para } TE^* < 30 \quad \text{Equação 05}$$

$$0,028 \cdot (TE^* - 14), \text{ para } TE^* > 30. \quad \text{Equação 06}$$

Deste modo, tendo-se a temperatura operativa e a umidade absoluta de um ponto, é possível, através de cálculo iterativo, encontrar a temperatura efetiva para aquela condição.

Para as variáveis climáticas, considerou-se que a temperatura radiante média é numericamente equivalente à temperatura do ar (temperatura de bulbo seco). Esta aproximação é válida admitindo-se que o entorno imediato não possua superfícies com altas temperaturas e capacidade de emissividade, fato conseguido com o sombreamento das fachadas. Portanto, a temperatura operativa é numericamente igual à temperatura do ar (temperatura de bulbo seco). São então calculadas as temperaturas efetivas externas para cada hora do banco de dados climáticos anual, assumindo-se que $t_o = t_{bs}$. A temperatura efetiva usada no cálculo de t_{ne} é a temperatura média de todas as horas dos últimos 30 dias.

Adotando-se uma faixa de tolerância de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ para essa temperatura no ambiente externo em questão, 90% dos ocupantes ou mais estariam satisfeitos com as condições térmicas do ambiente. Admitindo-se uma tolerância de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$, obter-se-ia um índice de satisfação de 80%. Neste estudo adotou-se a faixa de tolerância mais restritiva, trabalhando-se com um índice de satisfação superior a 90% dos ocupantes. Para as variáveis individuais, consideraram-se roupas leves e em trabalho leve ($M=210 \text{ W}$), o que leva a uma correção de 2°C (Humphreys 1978). Foram adotadas vestimentas leves: bermuda e camiseta, sendo considerados ainda calçados, meias e roupa íntima, obtendo-se um conjunto com resistência equivalente a $0,5 \text{ clo}$ (ISO 9920, 1995). Adotou-se trabalho leve ($M=210\text{W}$) equivalente a $M=116\text{W}/\text{m}^2$ para um homem padrão de $1,7\text{m}$ e 70kg (ISO 8996, 1990). Esta taxa metabólica equivale à atividade de caminhar a $0,9 \text{ m/s}$ (Fanger, 1970). Foram previstos, assim, os deslocamentos que serão realizados.

Para a consideração de diferentes tipos de revestimentos de piso, utilizou-se o aplicativo Tensil 1.2 (Alucci, 2005). Este aplicativo possui modelagem computacional baseada em: balanço termo-fisiológico de Blazejczyk (2002); modelo de radiação de Kuwabara (2002); cálculo da temperatura de fundo de céu de Bliss (Duffie & Beckman, 1980); cálculo das temperaturas superficiais de piso (IRC, 2000) e de revestimento

vegetal (Karvonen, 2003). Este aplicativo utiliza, para avaliação do conforto térmico, o índice fisiológico de neutralidade térmica proposto por Blazejczyk (2002). O modelo de Blazejczyk (2002) pressupõe que, se o usuário está em espaço aberto (céu aberto), sua “maquina térmica” deve permanecer em equilíbrio, ou seja, a soma total de ganhos e perdas de calor deve ser idealmente zero, ou um valor que não submeto o corpo humano a nenhum tipo de estresse térmico, por frio ou calor. A equação geral que expressa tal balanço, é:

$$S = M + L + R + C + E + Res \quad \text{Equação 07}$$

onde: S: calor acumulado no corpo; M: calor metabólico produzido pelo corpo, função da atividade; L: troca por radiação de onda longa; R: ganho por radiação de onda curta ; C: troca de calor por convecção; E: perda de calor por evaporação; Res: perda de calor pela respiração (todos em W/m²)

O balanço térmico indica a interação entre as características do indivíduo (atividade, tipo e cor da roupa, etc), as características do meio (albedo e emissividade das superfícies, existência de obstruções que determinam áreas sombreadas) e as condições climáticas locais (radiação solar direta, difusa e refletida, temperatura e umidade do ar, pressão de vapor, pressão atmosférica, velocidade do vento).

Base de dados climáticos

Os dados da estação meteorológica do Aeroporto do Galeão foram utilizados como base para esse trabalho. O Laboratório Master, Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, cedeu os seguintes dados da referida estação meteorológica: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, de 1998 a 2004. Estes mesmo dados, para os anos de 2002 a 2004, podem ser encontrados no software de uso público EnergyPlus (DOE, 2004). Para o cálculo dos dados de radiação solar foi utilizado o banco de dados do software Meteonorm, que emprega o modelo de interpolação tridimensional de distância inversa de Shepard (Zelenka et al., 1992), considerando-se ainda o desconto de distância Norte-Sul proposto por Wald & Lefèvre (2001).

Na verificação de consistência dos dados foram descartados os anos de 1998 e 1999, devido ao número de registros realizados: apenas quatro medições diárias. Considerando-se então os dados horários de 2000 a 2004, foram feitas as médias horárias dos parâmetros temperatura e umidade do ar a partir dos dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e pressão atmosférica efetivamente registrados, construindo-se assim o ano de referência para projeto, com 8760 horas para cada parâmetro climático. Para os dados de velocidade e direção do vento, selecionou-se, dentre os dados efetivamente registrados, os valores coincidentes e/ou os mais próximos referentes aos quadrantes predominantes. Assim sendo, a velocidade média para cada hora foi calculada para as direções selecionadas. Conforme pode ser observado, o ano de referência adotado é significativo especificamente em relação às condições climáticas verificadas no período de 2000 a 2004.

Com base no ano de referência, tem-se que nos meses de verão a temperatura diária máxima do ar comumente ultrapassa os 30°C, estando a mínima por volta de 25°C. Com relação aos meses de inverno, verifica-se mínima em torno de 18°C e máximas superiores a 25°C. Assim, pode-se dizer que não é necessária uma preocupação com o período de inverno, dado que períodos frios são muito restritos. Por outro lado, solucionando-se os períodos quentes de verão, tem-se melhor desempenho térmico geral, dado que períodos quentes estão presentes ao longo de todo o ano. Nos períodos de verão, tem-se massas de água da ordem de 15 a 20g por kg de ar seco, taxas bastante elevadas. A umidade relativa atinge, diariamente, valores entre 80 e 100%, indicando dificuldade para perda de calor latente. A radiação global,

no verão, comumente atinge valores por volta de 1000 W/m². Estes valores são atingidos em dias ensolarados, em que a radiação direta é responsável por 70 a 80% desse valor. Em dias nublados ou parcialmente encobertos, radiação global fica por volta de 600W/m², com parcela mais significativa de radiação difusa. A quantidade de radiação solar é bastante significativa, constituindo-se de objeto de estratégia primária de intervenção para garantir o desempenho térmico dos espaços urbanos.

A Figura 1 apresenta a rosa dos ventos. Verifica-se que a predominância é de ventos do quadrante sudeste.

A Tabela 1 apresenta a freqüência de ocorrência destes ventos.

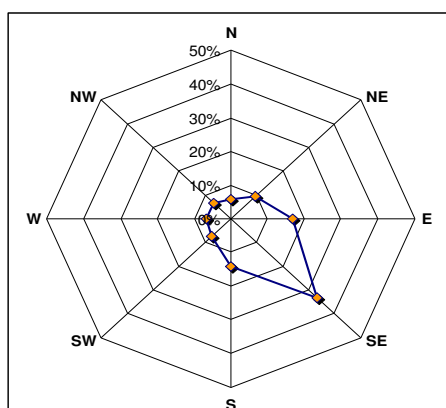


Figura 1 – Rosa dos ventos de referência.

Tabela 1 - Distribuição das velocidades de vento no quadrante Sudeste

Velocidade do vento maior ou igual a (m/s)	Freqüência de ocorrência (%)
0,5	99,9
1	97,7
2	73,6
3	49,6
4	24,6
5	9,6
6	2,4
7	0,5
8	0,1

Contudo, estes dados foram obtidos em estação meteorológica situada em localidade mais próxima ao mar. Assim, este fato, associado ao fato de Austin estar localizado em uma baixada, fazem com que os ventos fiquem comprometidos. Desta forma, deve-se garantir a possibilidade de existência de ventilação natural por efeito de ventos, por não se pode contar com este efeito para garantir o desempenho térmico dos espaços.

Resultados

Devido à diversidade de configurações previstas no projeto para as áreas abertas, foram analisadas nove alternativas para a avaliação do conforto térmico nos ambientes externos:

1. Com toda radiação solar incidente e toda ventilação natural possível (rv)
2. Com metade da radiação solar incidente e toda ventilação natural possível (r*v)
3. Com toda radiação solar incidente e metade da ventilação natural possível (rv*)
4. Com metade da radiação solar incidente e metade da ventilação natural possível (r*v*)
5. Com toda radiação solar incidente e sem ventilação natural (r)
6. Com metade da radiação solar incidente e sem ventilação natural (r*)
7. Sem radiação solar incidente e com toda ventilação natural possível (v)
8. Sem radiação solar incidente e com metade da ventilação natural possível (v*)
9. Sem radiação solar incidente e sem ventilação natural (-)

Os valores de radiação solar e velocidade do vento utilizados, assim como os de temperatura e umidade relativa do ar, são extraídos base de dados climáticos (ano de referência, com 8.760h), descrito

anteriormente. Para a consideração da ventilação natural, corrigiu-se os valores de velocidade do vento, medidos no Aeroporto do Galeão a 10m de altura, para a altura do pedestre, a 1m do chão, segundo o proposto pelo Building Research Establishment (citado por Bittencourt, 1994):

$$v = v_m \cdot k \cdot z^a \quad \text{Equação 08}$$

onde: v = velocidade do vento na altura z ; v_m = velocidade do vento na estação meteorológica (10m de altura); z = altura de referência; k , a = coeficientes de terreno

Consideraram-se os coeficientes de terreno para campo aberto plano, adotando-se $k=0,68$ e $a=0,17$. Os resultados obtidos, em termos de porcentagens de sensação de conforto e de desconforto no local, para cada alternativa analisada é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado comparativo das alternativas analisadas

	rv	r*v	rv*	r*v*	r	r*	v	v*	-
frio	7,6%	14,5%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	28,8%	0,4%	0,0%
conforto	57,0%	75,4%	42,4%	54,1%	0,3%	1,1%	68,8%	78,3%	1,7%
calor	35,4%	10,1%	57,5%	45,8%	99,8%	98,9%	2,4%	13,2%	98,3%

Vale destacar que os momentos de desconforto por frio, que acontecem com maior frequência nos meses da estação de inverno, estão diretamente relacionados ao vento e não especificamente às temperaturas do ar.

Temperatura superficial de pisos

As figuras 2 e 3 mostram respectivamente a variação horária da temperatura superficial de diferentes tipos de revestimento de piso expostos a céu aberto e a variação horária da temperatura superficial de piso asfáltico exposto ao sol e à sombra, para a cidade do Rio de Janeiro, no mês de janeiro.

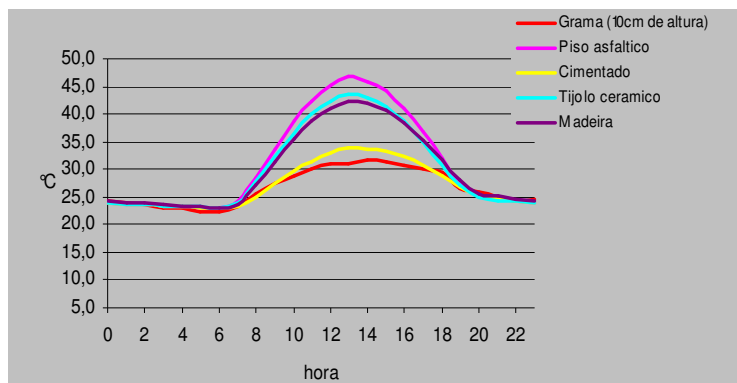


Figura 2 – Variação horária da temperatura superficial de diferentes tipos de revestimento de piso, expostos a céu aberto (Rio de Janeiro, em janeiro)

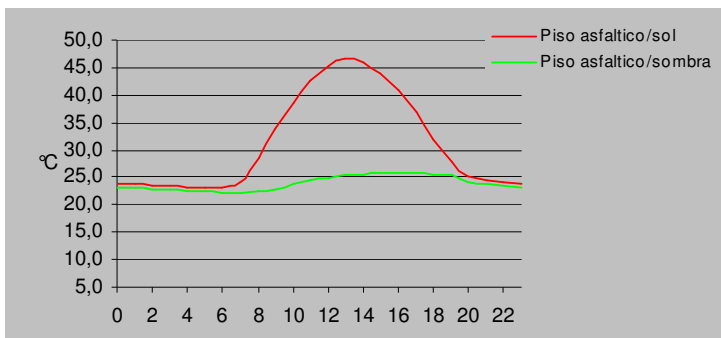


Figura 3 – Variação horária da temperatura superficial de piso asfáltico exposto ao sol e à sombra (Rio de Janeiro, em janeiro)

Conforto térmico

As figuras 4 e 5 mostram a influência dos resultados térmicos de diferentes soluções de piso: acimentado e gramado. A legenda para as figuras seguintes é: CE: calor extremo; CM: calor moderado; N: neutralidade térmica; FM: frio moderado; FE: frio extremo

h/mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
1	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
2	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	N	N	N
3	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	N	N	N
4	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	N	N	N
5	N	FM	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	FM	N	N
6	N	FM	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	FM	N	N
7	CM	N	N	N	FM	FE	FE	FM	N	N	N	N
8	CM	CM	CM	CM	N	FM	FM	N	N	CM	CM	CM
9	CE	CM	CE	CM	CM	N	N	CM	CM	CM	CM	CM
10	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE
11	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE	CE
12	CE	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CE	CE	CE	CE	CE
13	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CE	CE	CE	CE	CE
14	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CE	CE	CE	CE	CE
15	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE
16	CE	CE	CM	CM	CM	N	N	CM	CM	CM	CM	CM
17	CM	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	CM	CM	CM
18	CM	CM	CM	CM	N	N	FM	N	N	N	CM	CM
19	CM	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
20	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
21	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
22	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
23	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N

Figura 4 – Conforto térmico para situação com piso acimentado exposto ao sol

h/mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
1	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
2	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	N	N	N
3	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	N	N	N
4	N	FM	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	N	N	N
5	N	FM	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	FM	N	N
6	N	FM	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	FM	N	N
7	CM	N	N	N	FM	FE	FE	FM	N	N	N	N
8	CM	CM	CM	CM	N	FM	FM	N	N	CM	CM	CM
9	CM	CM	CM	CM	CM	N	N	CM	CM	CM	CM	CM
10	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
11	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE	CE
12	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CE	CM	CE	CE	CE
13	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE	CE
14	CE	CE	CE	CE	CM	CM	CM	CM	CM	CE	CE	CE
15	CE	CE	CE	CM	CM	N	CM	CM	CM	CM	CM	CM
16	CM	CE	CM	CM	CM	N	N	CM	CM	CM	CM	CM
17	CM	CM	CM	CM	N	FM	FM	N	N	CM	CM	CM
18	CM	CM	CM	N	N	FM	FM	N	N	N	CM	CM
19	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
20	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
21	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
22	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
23	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N

Figura 5 – Conforto térmico para situação com piso gramado exposto ao sol

h/mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
1	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
2	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	N	N	N
3	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	N	N	N
4	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	N	N	N
5	N	N	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	N	N	N
6	N	FM	N	N	FM	FM	FM	FM	FM	FM	N	N
7	N	FM	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	FM	N	N
8	N	N	N	N	FM	FE	FE	FM	FM	N	N	N
9	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
10	CM	CM	CM	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
11	CM	CM	CM	N	N	FM	FM	N	N	N	N	CM
12	CM	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	CM	CM
13	CM	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	CM	CM
14	CM	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	CM	CM
15	CM	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	N	CM
16	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	N	N	CM
17	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	N	N	CM
18	CM	CM	CM	N	N	N	N	N	N	N	N	CM
19	CM	CM	CM	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
20	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
21	N	N	N	N	N	FM	FM	N	N	N	N	N
22	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N
23	N	N	N	N	N	FM	FM	FM	N	N	N	N

Figura 6 – Conforto térmico para situação sombreada (80% de radiação bloqueada)

A figura 6 mostra os resultados para uma situação em que aproximadamente 80% da radiação solar foi bloqueada. Nesta situação, não é distinguido o tipo de piso, pois considera-se que toda a área de avaliação está constantemente sombreada, adotando-se assim temperaturas superficiais iguais para os diferentes pisos. Estes resultados foram obtidos para áreas edificadas, considerando-se que as pessoas estão em pé e paradas, vestindo calças e camisa de manga curta com cores médias.

Recomendações

Com base nos dados climáticos estabelecidos, verifica-se elevadas temperaturas do ar e elevadas umidades relativas, principalmente nos períodos de verão, mas também ao longo de todo o ano. O período de inverno não apresenta temperaturas baixas significativas, fato que indica que as intervenções a serem realizadas deverão de preocupar com as situações críticas de verão, buscando minimizar as sensações térmicas de calor, maximizando as condições de conforto ao longo de todo o ano.

Considerando-se espaços externos, é interessante buscar soluções diversificadas que atendam às diversas expectativas de conforto dos usuários, assim como às diferentes exigências das atividades (passagem, permanência curta e prolongada). Os cenários hipotéticos analisados, de composição e caracterização de espaços externos, segundo exposição às condições climáticas e tratamento de materiais, foram selecionados visando a abarcar essa diversidade. Assim, nos ambientes externos em que a velocidade do ar for igual à velocidade do vento local em campo aberto, é necessária a redução de aproximadamente metade da radiação solar incidente para ampliação significativa dos períodos de conforto. À medida que a velocidade do ar diminui, faz-se necessário um maior bloqueio da radiação solar incidente. Com a velocidade do ar reduzida aproximadamente pela metade, é necessário o bloqueio total da radiação solar. Reduções maiores na velocidade do ar podem acarretar períodos mais longos de desconforto.

Deve-se ter em mente que um projeto de intervenção de larga escala, que considere as questões de forma e materiais pensadas também em função das condições micro-climáticas, pode promover mudanças razoavelmente consideráveis na temperatura e umidade do ar. Contudo, dado o caráter do projeto de intervenção para a área em questão, no qual está focado principalmente o tratamento dos espaços externos remanescentes e não propriamente do uso e ocupação do solo e do espaço urbano, pouca capacidade se tem de alterar tais variáveis, a não ser em casos bastante específicos, mas que repercutirão de maneira deveras localizada, restrita ao domínio do local de intervenção. Assim, no projeto em questão, as variáveis climáticas que deverão ser prioritariamente consideradas pensando nas condições ambientais das áreas abertas são a radiação térmica e a ventilação.

Quanto à ventilação natural, não se pode garantir a sua presença e facilmente induzi-la em espaços abertos. A sua indução, além de pouco eficiente na maioria dos casos de ambientes externos, é no caso em questão bastante improvável, dada às limitações de intervenção. Assim, devem ser priorizadas as soluções que dizem respeito à radiação térmica, garantindo apenas que estas soluções não comprometam a possível eventual ventilação natural existente na área em questão.

Com relação à radiação térmica, devem-se minimizar os ganhos de calor e maximizar as perdas de calor dos materiais que constituem o ambiente construído. O principal recurso para minimizar os ganhos é o sombreamento dos espaços existentes e a correta orientação de novos equipamentos ou edificações. Deve-se garantir o bloqueio da radiação solar nos espaços que forem ser ocupados por atividades de permanência. Nos espaços de passagem, o bloqueio também é desejável. Deve-se ainda buscar o bloqueio da radiação solar evitando que esta atinja as superfícies delimitadoras dos espaços externos, como, por exemplo, as fachadas das edificações. Esta solução, além de garantir menores temperaturas superficiais, emitindo-se assim menos calor para o ambiente junto às construções, diminui também o ganho de calor das mesmas edificações. Da mesma forma, menores temperaturas superficiais devem ser também garantidas para os pisos. Assim, devem-se buscar prioritariamente revestimentos de vegetação, ou ainda pisos processados com cores claras, mas evitando-se cores excessivamente claras em áreas que forem ficar

expostas ao sol, para que não sejam criados focos de ofuscamento por reflexão da radiação solar direta. Para se maximizar as perdas térmicas é importante garantir uma boa visibilidade do céu. Grande parte das perdas por radiação térmica se dá para o que é comumente chamado de “fundo de céu”. Assim, o sombreamento deve ser realizado de forma a encobrir prioritariamente a porção celeste em que o sol aparentemente percorre. É desejável que o restante do céu não seja encoberto, pois assim garante-se perda de energia térmica, não apenas por parte das pessoas, mas também por parte de todo o sistema urbano (ambiente construído).

A figura abaixo ilustra o efeito do sombreamento no conforto térmico. O sombreamento aumenta a sensação de conforto, uma vez que reduz o ganho de calor por radiação solar. Contudo, nem todo sombreamento apresenta a mesma eficiência. O sombreamento por árvores (primeiro desenho da seqüência), ainda que não barre toda a radiação solar direta, mostra-se usualmente mais eficiente por reemitir pouca radiação térmica, possibilitando ainda as trocas convectivas, evitando assim o aquecimento do local sombreado. Já coberturas processadas, ou seja, constituídas de materiais inertes (segundo desenho da seqüência), devem ser utilizadas com cautela, uma vez que reemitem porções mais consideráveis da radiação térmica recebida. É importante sempre garantir que tais elementos construídos possuam aberturas superiores para evitar o aquecimento do local sombreado. Por fim, em situações em que se deseje um máximo de sombreamento sem aumento das temperaturas superficiais, pode-se utilizar soluções conjugadas de árvores e coberturas (terceiro desenho da seqüência), inclusive.



Figura 7 – Seqüência ilustrando o efeito do sombreamento no conforto

O efeito da ventilação no conforto térmico é ilustrado através da figura abaixo. Em locais em que se tenha uma ventilação abundante, como é usual a beira mar (primeiro desenho da seqüência), é possível obter-se condições de conforto mesmo sob radiação solar intensa. Em outras situações de espaços abertos (segundo desenho da seqüência), como a ventilação natural não é garantida e usualmente é inconstante, é desejável o sombreamento dos espaços, visando à maximização do conforto, mesmo em situações com baixa ventilação. Em locais de permanência, podem ser adotadas soluções localizadas, para um sombreamento mais eficiente, melhorando as condições de conforto mesmo quando a ventilação existente for insuficiente (terceiro desenho da seqüência).



Figura 8 – Seqüência ilustrando o efeito da ventilação no conforto

A figura a seguir ilustra o efeito do entorno no conforto térmico. Em situações urbanas típicas (primeiro desenho da seqüência), tem-se uma dinâmica mais complexa em termos de trocas térmicas. Espaços urbanos bastante densos e verticalizados podem propiciar zonas de sombreamento e, dependendo do tratamento das superfícies e das condições de ventilação, é possível obter-se condições de conforto melhores do que em campo aberto. Por outro lado, situações em que se tem maiores quantidades de radiação solar, como no caso de ocupações menos densas e mais horizontalizadas, acaba por ocorrer o aquecimento das superfícies, levando a maiores ganhos por radiação térmica.



Figura 91 – Seqüência ilustrando o efeito do entorno no conforto

Em situações de campo aberto (segundo desenho da seqüência), a ventilação natural e as perdas para fundo de céu ajudam a equilibrar os ganhos com radiação solar. De maneira análoga, é importante, portanto, garantir as condições de ventilação nos espaços urbanizados e, ainda, tratar as superfícies, selecionando superfícies com menor absorção de radiação incidente, ou ainda o garantindo o seu sombreamento. Por outro lado, este sombreamento deve ser feito, conforme já colocado, de forma que não se impeça a visão de todo o céu e ainda se garanta a ventilação por efeito chaminé (ascensão do ar quente). Finalmente, nos espaços urbanos mais abertos, como praças e parques (terceiro desenho da seqüência), obtém uma situação intermediária, em que não se tem a influência direta das edificações, mas também não se tem um campo realmente aberto.

Conclusões

Deve-se ressaltar que, nos diversos espaços urbanos, dá-se não apenas a locomoção de pessoas como também a realização de uma série de atividades sociais de maior permanência. Assim, os espaços externos devem ser devidamente tratados para maximizar as condições de conforto dos usuários, contribuindo assim para a efetiva realização de tais atividades. É desejável, então, que se busque, considerando as diretrizes indicadas pelas avaliações realizadas, variabilidade nas condições térmicas dos espaços, através da diversidade de situações espaciais, como mencionado anteriormente. Isso, porque, com uma maior variedade de configurações, que geram situações que permitem sensações térmicas ligeiramente mais quentes ou mais frias, tem-se a possibilidade de as pessoas satisfazerem suas necessidades de conforto através da escolha do local que melhor lhes aprouver, aumentando a porcentagem de usuários satisfeitos, através de diferentes situações micro-climáticas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro, a Cecília Mueller pelas ilustrações e a Célio Diniz da DDG Arquitetura pela oportunidade de participação no projeto de Reurbanização de Austin, na cidade de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

Referências

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) (1997). *Handbook of fundamentals*. Atlanta: ASHRAE.
- _____. (1992). *ASHRAE 55-1992: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.
- AROZTEGUI, José Miguel. (1995) Índice de Temperatura Neutra Exterior. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 3, 1995, Gramado. *Anais...* Gramado: ENCAC.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof. (2002) Menex 2002. Warsaw: Institute of Geography and Spatial Organization, Cited on 24/04/2004 <Available from the internet on <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/menex.rtf>, >
- DEAR, Richard; BRAGER, Gail; COOPER, Donna. (1997) *Developing an adaptative model of thermal comfort and preference*. Sydney: ASHRAE.
- DOE (Department of Energy of United States Of America). *EnergyPlus* Energy Simulation Software. Base de dados do Aeroporto do Galeão 2002-2004. Em: <<http://www.eere.energy.gov>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2004.
- DUFFIE, Jonh A.; BECKMAN, (1980) William A.. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley-Interscience. 762 p.
- FANGER, P. O. (1970) *Thermal comfort: analysis and application in environment engineering*. New York: McGraw Hill.
- GIVONI, Baruch. (1981) *Climate considerations in building and urban design*. New York: Jonh Wiley & Sons.
- HUMPHREYS, M. A. (1978) Outdoor Temperatures and Comfort Indoors. Garston. Watford. *Building Research and Practice*, 6, p. 92-105, Mar/Apr.
- ISO (International Organization Standardization) (1990). *ISO 8996*. Ergonomics: determination of metabolic heat production. Genève: ISO.
- _____. (1998) *ISO 7726*: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO.
- _____. (1994) *ISO 7730*: Moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genève: ISO.
- _____. (1995) *ISO 9920*. Ergonomics of the thermal environment: estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO.
- KUWABARA et al. (2002) Evaluation of thermal sensation in urban environment. Building envelope and indoor environment – Estimation of thermal insulation and evaporative resistance o ensemble of a clothing.

- METAR. *Dados climáticos do Aeroporto do Galeão 1998-2004*. Laboratório Master – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- PAUL, K. et al. (2004) Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, p. 167-182.
- RORIZ, Maurício. (2004) Jardim. São Carlos: UFSC. (Não publicado).
- SZOKOLAY, Steven. (2001) Use of the new effective temperature: ET* in practice. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), 18, 2001, Florianópolis. *Proceedings...* Florianópolis: PLEA, p. 1003-1008.
- UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. (2002) *Green Building Rating System For New Construction & Major Renovations Version 2.1 (LEED-NC)*. EUA.
- WALD, L.; LEFÈVRE, M. (2001) *Interpolation schemes*. Profile method (a process-based distance for interpolation schemes). SoDa Deliverable D5-1-1.
- WILLIAMS G. P., GOLD L. W. (1976) CBD-180: Ground temperatures. Canadian Building Digest. Canada: IRC-CNRC. <Available on the internet from: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cdb180e.html>>
- ZELENKA, A. et al. (1992) *Techniques for supplementing solar radiation network data*. Volume 1-3. IEA Report No. IEA-SHCP-9D-1.