

MAPEAMENTO E ANÁLISE DE MICRO-CLIMAS URBANOS

Maurício Roriz (1), Renata Aboud Barbugli (2)

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - Fone (016) 260-8262 ramal 232
E-mail: (1) m.roriz@zaz.com.br (2) traco@techs.com.br

RESUMO

Este artigo aborda diferenças climáticas no interior de zonas urbanas. Em uma pesquisa ainda em andamento, temperaturas e umidades do ar foram monitoradas em diversos pontos de Araraquara, cidade média da região central do Estado de São Paulo. Sendo constatadas consideráveis diferenças, procurou-se identificar as causas e analisar as conseqüências. Os primeiros resultados da pesquisa demonstram ser possível estimar-se, com precisão, os efeitos do tipo de ocupação urbana sobre a formação dos micro-climas. São aqui apresentados exemplos relativos à temperatura máxima do ar.

ABSTRACT

This paper deals with the identification of urban microclimates. A research has been carried out in Araraquara, a medium size city in central region of Sao Paulo State. The temperatures and humidities of the air have been monitored in different zones of this city, wherein considerable climate differences have been observed. This research has been trying to identify the causes and to analyze the consequences of these differences. The preliminary results indicate that it is possible to estimate with reasonable precision the effects of the urban occupation on the development of microclimates. Examples related to the air maximum temperature are presented.

1. INTRODUÇÃO

Diversos métodos têm sido desenvolvidos para análise climática com vistas a auxiliar os projetistas a escolherem tipologias arquitetônicas e construtivas que elevem os níveis de conforto térmico e a eficiência energética de edificações. As primeiras propostas neste sentido foram apresentadas nos Estados Unidos pelos irmãos Olgay (1963) e, na Inglaterra, por Carl Mahoney, Koenigsberger e Evans (UNITED Nations, 1971). Posteriormente outros instrumentos surgiram, como as sucessivas Cartas Bioclimáticas de Givoni (1969, 1992) ou o Método dos Triângulos de Evans (2000), entre outros.

Para aplicar qualquer um destes procedimentos, são geralmente adotadas médias climáticas, obtidas ao longo de anos de observação em alguma estação climatológica local. Quando disponíveis, são estatisticamente mais significativos os dados horários de anos climáticos típicos ou as Normais Climatológicas, que envolvem um período de trinta anos de observação.

Usualmente, os resultados dessas análises climáticas são considerados válidos para quaisquer pontos da malha urbana. Supõem-se, portanto, que não sejam consideráveis as eventuais diferenças entre estes pontos. Entretanto, muitas estações climatológicas localizam-se em aeroportos ou outras regiões cujos baixos índices de ocupação não refletem as condições ambientais predominantes na cidade. Mas mesmo quando o clima é medido no interior da malha urbana, ainda assim permanecem dúvidas sobre a possibilidade de generalizar os dados para a totalidade da cidade.

Inúmeras pesquisas têm encontrado acentuada diversidade climática entre diferentes pontos de uma mesma cidade. Parte destas pesquisas focalizam as Ilhas de Calor, particularmente em grandes centros urbanos (LOMBARDO, 1985; AUSTRÁLIA, 2003) e apontam diferenças térmicas de até 10 °C.

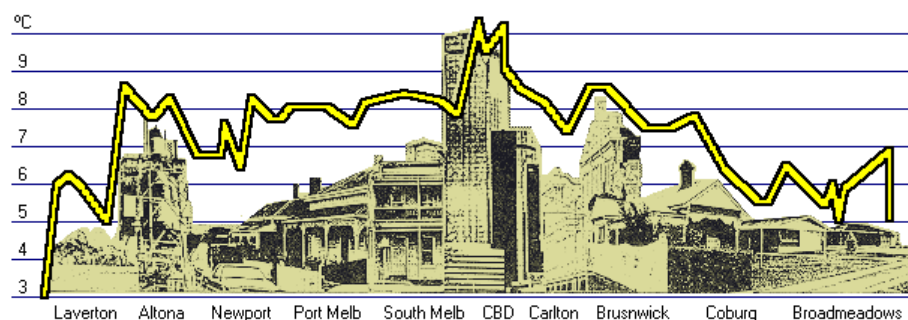


Figura 1 - Clima urbano e ocupação do solo em Melbourne (adaptado de AUSTRÁLIA, 2003)

Araraquara tem 215 mil habitantes e situa-se na região central do Estado de São Paulo, com latitude de 21° 47' sul, longitude de 48° 10' oeste e altitude média de 650 metros sobre o nível do mar. Apesar de ser uma das principais cidades do interior paulista, Araraquara não dispõe de um sistema regular de registro de clima. Recentemente, duas empresas começaram a coletar alguns dados de clima, mas em área rural. Desde 2001, também no aeroporto local são registrados alguns dados.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para verificar eventuais diferenças climáticas no interior da área urbana, foram monitorados dados de temperatura e umidade do ar em diversos pontos da cidade. Utilizou-se um sistema automático de registradores eletrônicos, modelo Hobo, fabricados nos EE.UU pela Onset. As primeiras medições revelaram que estes instrumentos são extremamente sensíveis à radiações térmicas, mesmo em ambientes internos. Para evitar que estas radiações afetassem as temperaturas medidas, os aparelhos foram instalados à sombra e no interior de recipientes de alumínio com pequenas aberturas que permitissem a livre circulação do ar.

Entre os dias 6 e 15 de agosto de 2002 realizaram-se medições simultâneas em 10 pontos da cidade, representativos das diversas situações típicas de densidade de ocupação, altitude, arborização, revestimento do solo, etc. Em cada ponto, os instrumentos registraram temperaturas e umidades do ar, a intervalos de 10 minutos. Dois dos pontos medidos apresentaram valores aparentemente incorretos e foram descartados. Em um deles, o sensor foi instalado em local inadequado para medir-se temperaturas externas, com pouca ventilação e muito próximo à uma cobertura escura de fibrocimento cuja radiação térmica certamente aqueceu todas as superfícies e, por convecção, as próprias temperaturas do ar. O segundo caso ainda está sendo analisado. Conforme será demonstrado adiante, os resultados dos outros instrumentos indicaram diferenças climáticas significativas, mas coerentes, entre os locais estudados.

Além das medições, foram registrados, para cada ponto, alguns dos parâmetros físicos teoricamente determinantes na formação dos micro-climas: altitude, ângulo de incidência dos raios solares ao meio-dia e porcentagens de áreas edificadas, asfaltadas, cimentadas, gramadas ou arborizadas. Identificou-se as altitudes em base digital de dados topográficos. Os ângulos de incidência solar foram calculados para o dia médio do período e em função da declividade do solo. As porcentagens dos diferentes tipos de ocupação da área foram obtidas através de análise de fotografias aéreas da cidade.

Para quantificar as respectivas porcentagens de cada fator (edificação, asfalto, grama, etc.) foi necessário adotar algum raio de influência dos mesmos em torno de cada um dos pontos. Um conjunto de árvores, por exemplo, exerce influência climática em um raio de quantos metros? Buscou-se a resposta através de tentativas, iniciando-se arbitrariamente com um raio de 250 metros e

variando-o progressivamente até que as análises de regressão apresentassem as melhores correlações. Deste processo resultou um raio em torno de 150 metros.



Figura 2 - Locais monitorados

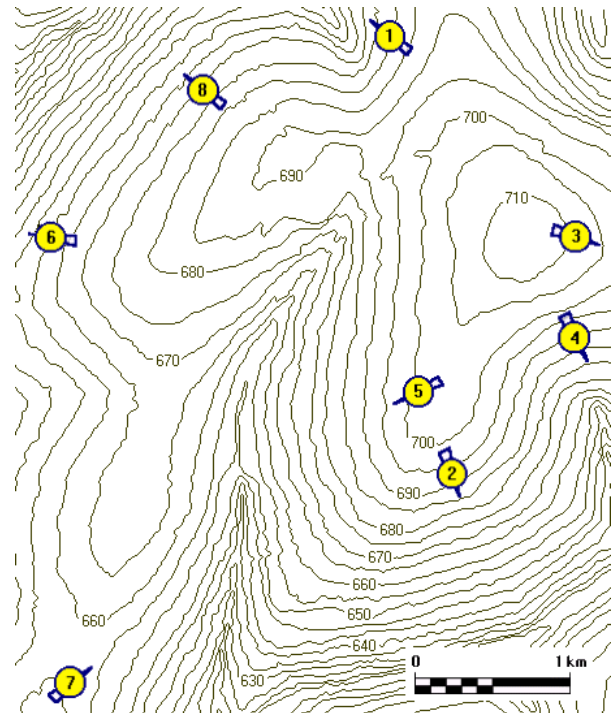


Figura 3 - Relevo

Um programa computacional vem sendo desenvolvido para ler imagens gráficas e calcular as porcentagens correspondentes a cada parâmetro (cor). Em uma primeira fase experimental, estas imagens foram produzidas manualmente (figura 4), a partir das fotografias aéreas. Atualmente está sendo concluída uma rotina que faz a leitura diretamente sobre as fotografias.

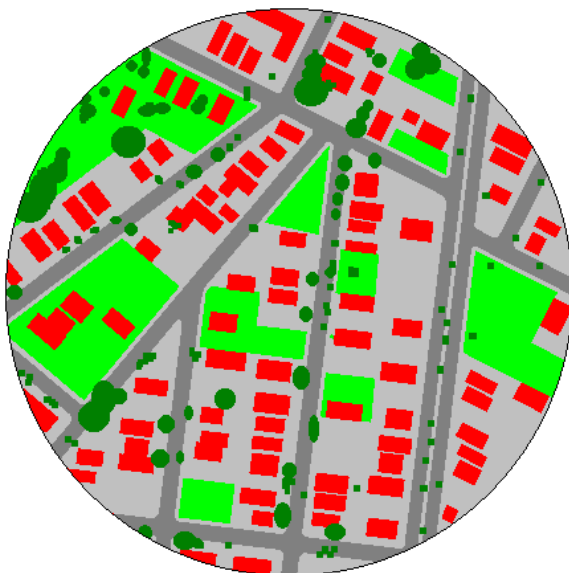


Figura 4 - Ocupação do solo no ponto 4



Figura 5 - Fotografia aérea do ponto 4

Exemplificando as diferenças térmicas observadas entre os locais estudados, apresenta-se, a seguir, uma discussão sobre as temperaturas máximas registradas em cada um deles.

3. FATORES DETERMINANTES NA FORMAÇÃO DE MICRO-CLIMAS

Na etapa atual, esta pesquisa considerou apenas alguns dos fatores que, segundo a teoria, provocam a diversidade dos micro-climas urbanos. Nas próximas fases, outros aspectos serão estudados, incluindo-se cursos d'água e o vento, extremamente importante pelo deslocamento de massas de ar entre diferentes lugares. Como será demonstrado, apesar de ser pequena a influência de cada fator isolado, a ação conjugada entre eles pode ser absolutamente determinante na formação dos micro-climas.

Tabela 1 - Temperaturas máximas, incidência solar e parâmetros físicos da ocupação urbana

Ponto	Temp. Máxima	Altitude (m)	Ângulo Incid. Sol	Cimento (%)	Grama (%)	Árvore (%)	Edificação (%)
1	29.5	679.4	37.0	12.8	45.4	7.2	11.4
2	29.1	691.7	38.6	11.3	46.5	7.9	20.1
3	32.0	707.9	37.4	7.1	52.8	3.0	22.6
4	30.1	690.0	38.6	40.1	17.8	6.7	17.4
5	28.2	700.3	37.5	10.4	42.8	15.6	17.2
6	30.9	660.0	36.8	5.4	35.3	10.4	20.0
7	34.2	658.6	37.1	19.1	31.0	9.6	27.1
8	30.8	671.5	36.4	11.6	61.9	4.6	11.7

3.1. Altitude

Maiores altitudes estão geralmente associadas a menores temperaturas do ar. Na média, cada 100m a mais de altitude provocam uma queda de 0,6 °C na temperatura. Por outro lado, na ausência de ventos, o ar frio comporta-se como água, escoando para os pontos mais baixos do relevo. Apesar de pouco acentuadas, as diferenças de altitude provocaram alguma influência sobre as temperaturas máximas:

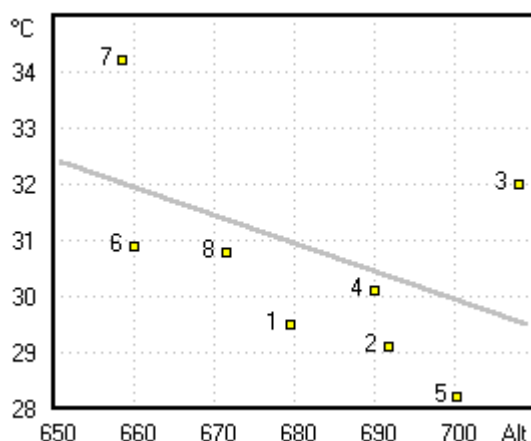


Figura 6: Relação observada entre temperaturas máximas e altitudes (Alt)

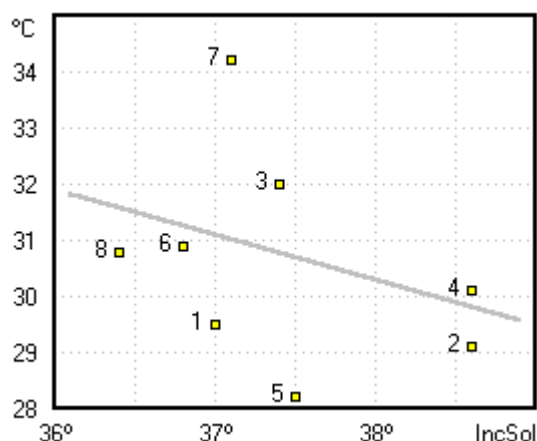


Figura 7: Relação entre temperatura máxima e ângulo de incidência solar (IncSol)

3.2. Ângulo de Incidência dos Raios Solares

Em relação à uma superfície qualquer, denomina-se ângulo de incidência solar ao ângulo formado entre os raios do sol e a normal à superfície. Este ângulo varia com as horas do dia, com as épocas do ano e em função da latitude do lugar. Quanto menor ele for, maior será a quantidade de energia solar que atingirá cada unidade de área da superfície. Por ser transparente às radiações do Sol, o ar atmosférico, quando livre de impurezas, troca calor principalmente por meio de convecção com corpos opacos à energia solar, como o próprio solo, edificações, massas de água, etc.. O Sol aquece

os corpos e estes aquecem o ar. Por este motivo, os ângulos de incidência solar exercem importante influência sobre as oscilações da temperaturas do ar. A equação 1 fornece este ângulo.

$$\text{IncSol} = \text{ArcCos} [\text{Sen} (\text{Alt}).\text{Cos} (\text{Inc}) + \text{Cos} (\text{DifAzi}).\text{Cos} (\text{Alt}).\text{Sen} (\text{Inc})] \quad [\text{Equação 1}]$$

Onde:

IncSol: ângulo de incidência solar

Alt: altura angular do Sol sobre a linha do horizonte

Inc: ângulo de inclinação da superfície (Figura 8)

DifAzi: diferença entre o azimute do Sol e o azimute da superfície (Figura 8)

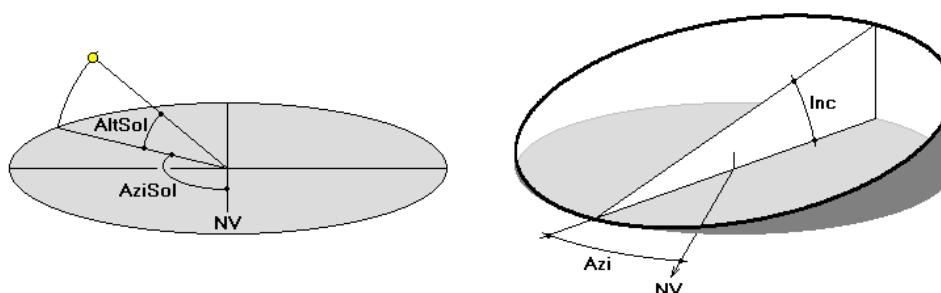


Figura 8 - Determinação dos ângulos de incidência solar sobre uma superfície.

3.3. Porcentagens de Áreas Cimentadas

É geralmente perceptível a influência que o tipo de revestimento do solo exerce sobre o clima urbano. Neste sentido, as principais características destes revestimentos são seus coeficientes de absorvância da radiação solar (função das cores: as mais escuras absorvem mais radiação), suas capacidades de armazenar calor (inércia térmica) e seus índices de impermeabilidade. Nas cidades brasileiras tem-se observado um aumento preocupante de revestimentos escuros e impermeáveis (asfalto, por exemplo).

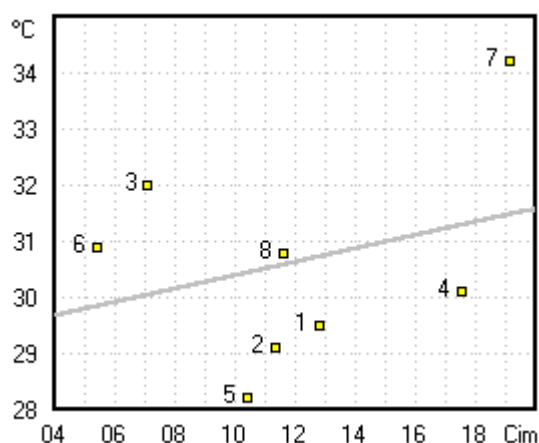


Figura 9 - Relação entre temperaturas máximas e porcentagens de área cimentada (Cim)

3.4. Porcentagens de Áreas Verdes

A vegetação provoca inúmeros efeitos benéficos sobre o ambiente urbano. Conforme Higuera (1997), árvores e outros tipos de vegetação são os elementos mais completos para adaptar e proteger os espaços livres, para manter o equilíbrio do ecossistema urbano e favorecer a composição atmosférica, a velocidade do ar ou a umidade ambiental. Por sua função fisiológica, liberam umidade ao ambiente, da água absorvida por suas raízes: um metro quadrado de bosque libera 500 kg de água

por ano. No verão, são reduzidas as temperaturas no ambiente circundante à vegetação, em proporção equivalente ao calor latente necessário para evaporar a água transpirada.

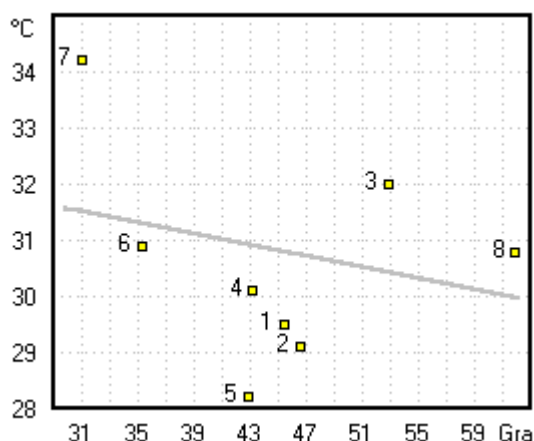


Figura 10: Relação entre temperaturas máximas e porcentagens de área gramada (Gra)

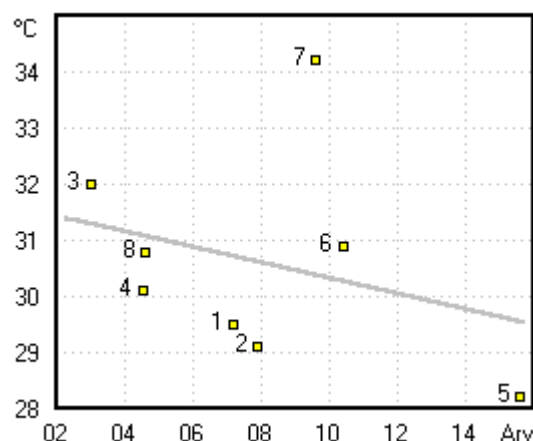


Figura 11: Relação entre temperaturas máximas e porcentagens de área arborizada (Arv)

3.5. Porcentagens de Áreas Edificadas

Os índices de ocupação do solo interferem significativamente na formação dos micro-climas urbanos, sendo um dos fatores responsáveis pelo surgimento das chamadas Ilhas de Calor. No presente estudo, são consideradas as áreas das projeções das edificações, perceptíveis nas fotografias aéreas.

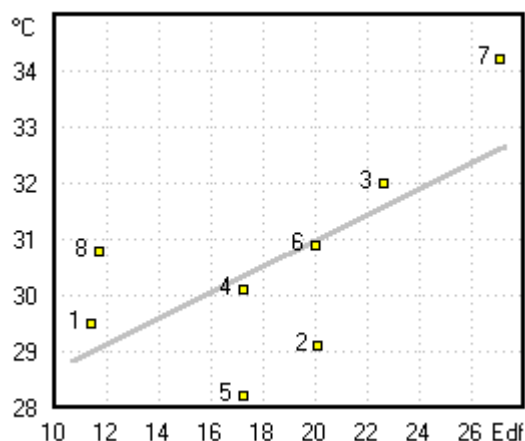


Figura 12 - Relação entre temperaturas máximas e porcentagens de área edificada (Edf)

4. EFEITO CONJUGADO DOS DIVERSOS FATORES DETERMINANTES

Através de regressão linear múltipla, foi obtida uma equação que permite estimar as temperaturas máximas em função dos Ângulos de Incidência Solar (IncSol) e das porcentagens de Área Cimentada (Cim), Área Arborizada (Arv) e Área Edificada (Edf). A reta de regressão está apresentada na Equação 2 e tem Coeficiente de Correlação de 0.99 e Desvio Padrão de 0.28. Conforme indica a Tabela 2, a maior diferença entre valores medidos e estimados foi de 0.5 °C e ocorreu em relação ao Ponto 3.

Tabela 2 - Diferenças entre temperaturas medidas e estimadas por equação de regressão

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 7	Pt 8
Tmax Medida (Med):	29.5	29.1	32.0	30.1	28.2	30.9	34.2	30.8
Tmax Estimada (Est):	29.4	29.0	32.5	30.4	28.6	31.3	34.1	30.9
Diferença (Med-Est):	0.1	0.1	-0.5	-0.3	-0.4	-0.4	0.1	-0.1

Os coeficientes da equação 2 traduzem a influência de cada parâmetro sobre as temperaturas máximas resultantes. Conforme outras pesquisas já constatarem, por um lado, estas máximas são elevadas pelo adensamento de edificações e de áreas impermeáveis e, por outro, são reduzidas por efeito da arborização:

$$T_{max} = 92.14 + 0.31 Edf + 0.07 Cim - 0.18 Arv - 1.78 IncSol \quad [Equação 2]$$

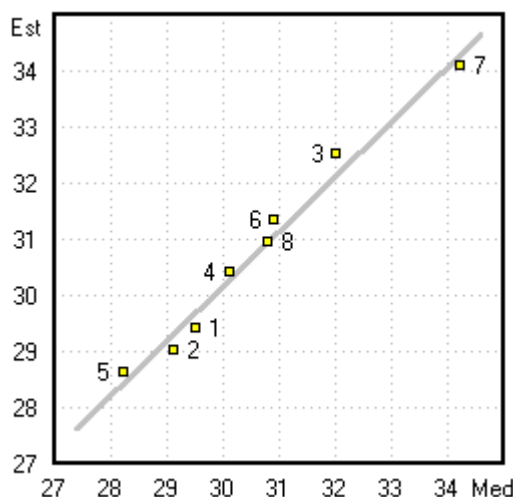


Figura 13 - Relação entre temperaturas máximas estimadas (Est) e medidas (Med)

É interessante observar as ordens de grandeza do impacto térmico de cada parâmetro no interior do círculo de influência micro-climática. Conforme já foi mencionado, o raio deste círculo foi definido em 150m, englobando, portanto, uma área aproximada de 70000 m². Conhecendo-se as porcentagens desta área que correspondem a cada um dos parâmetros físicos dos pontos monitorados (tabela 1), através da equação 2 pode-se calcular, por exemplo, quantos metros quadrados ou quantas unidades de cada parâmetro provocam a oscilação de 1 °C nas temperaturas máximas, para mais ou para menos.

Tabela 3 - Efeitos de cada parâmetro da ocupação do solo sobre as temperaturas máximas

Parâmetro	Coefficiente	Porcent. (%) da área total correspondente a 1 °C	Área (m ²) correspondente a 1 °C
Edificação (Edf)	+ 0.31	1 / 0.31 = 3.23	3.23x70000/100 ≈ 2200
Cimento (Cim)	+ 0.07	1 / 0.07 = 14.29	14.29x70000/100 ≈ 10000
Árvore (Arv)	- 0.18	1 / 0.18 = 5.56	5.56x70000/100 ≈ 3900
Parâmetro	Área média de 1 unidade	Número de unidades correspondente a 1 °C	Efeito provocado sobre as temperaturas máximas
Edificação (Edf)	residência: 100 m ²	2200 / 100 = 22	Elevação de 1 °C
Cimento (Cim)	quintal: 200 m ²	10000 / 200 = 50	Elevação de 1 °C
Árvore (Arv)	porte médio: 13 m ²	3900 / 13 = 300	Redução de 1 °C

Como a área total do círculo de influência engloba aproximadamente 7 quadras convencionais (100m x 100m), os números da tabela 3 indicam que em cada quadra bastariam 3 casas, 7 quintais cimentados ou 43 árvores de porte médio para provocarem a oscilação de 1 °C sobre as temperaturas máximas.

5. CONCLUSÕES

Ao construir e ocupar as cidades, o homem interfere significativamente sobre seu ambiente climático. Dependendo de suas decisões, os resultados dessa interferência serão favoráveis ou prejudiciais à vida. Os micro-climas provocados pela ação humana podem ser extremamente desconfortáveis e, para restabelecer o conforto, geralmente são desperdiçados preciosos recursos energéticos.

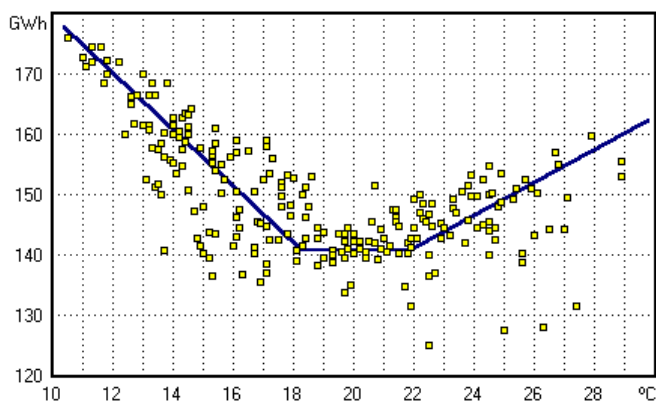


Figura 14: Relação entre Demanda de Energia e Temperaturas Médias em Sydney, 1990-1991 (adaptado de AUSTRALIA, 2003)

Assim como foi possível identificar e quantificar acentuada dependência das temperaturas máximas em relação às características físicas da ocupação urbana, provavelmente também serão previsíveis outras variáveis climáticas, como temperaturas mínimas, umidade, etc..

Em princípio, os resultados aqui apresentados são válidos apenas para a cidade estudada e para o período do ano em que ocorreu o monitoramento. Em outros meses, podem ser alterados os pesos relativos de cada fator e poderão ser mais importantes outros fatores, como ventos, chuvas, proximidade de massas de água, etc. Apesar destas limitações, o estudo demonstra a possibilidade efetiva de serem elaborados micro-zoneamentos climáticos do interior da zona urbana. Esta escala mais detalhada de estudo pode contribuir para o aperfeiçoamento do urbanismo bioclimático e para a conseqüente melhoria das condições de vida oferecidas aos habitantes de nossas cidades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTRALIA (2003) Sustainable Urban Design and Climate. Commonwealth Bureau of Meteorology. [www.bom.gov.au/climate/environ/design/design.shtml]
- EVANS, J. Martin (2000). Técnicas Bioclimáticas de Diseño: Las Tablas de Mahoney y los Triángulos de Confort. In: COTEDI 2000. Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificación. *Anais*. Maracaibo. Venezuela.
- GIVONI, Baruch (1969). *Man, Climate and Architecture*. New York. Elsevier.
- GIVONI, Baruch (1992) *Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines*. Energy and Buildings. VOL. 18, P. 11-23.
- HIGUERAS, Esther (1997). *Urbanismo Bioclimático. Criterios Medioambientales en la Ordenación de Asentamientos*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid.
- LOMBARDO, Magda A (1985). *Ilha de Calor nas Metrôpoles: O Exemplo de São Paulo*. Editora Hucitec – Lalekla S.A. São Paulo.
- OLGYAY, Victor (1963). *Design With Climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press. Princeton.
- UNITED Nations (1971). *Climate and House Design: design of low-cost housing and community facilities*. New York, Dep. Economic and Social Affairs, vol. 1.