



## O USO DA MODELAGEM CLIMÁTICA NO PLANEJAMENTO DOS ESPAÇOS URBANOS

**G. M. Barbirato**

Universidade Federal de Alagoas

Centro de Tecnologia / Departamento de Arquitetura

Laboratório de Conforto Ambiental - Grupo de Estudos em Conforto Ambiental

57072-920 Campus A.C. Simões Tabuleiro dos Martins, Maceió / AL, Brasil

Email: [gmb@fapeal.br](mailto:gmb@fapeal.br) , web page: <http://www.ctec.ufal.br/geca>

**A. Mattos**

Universidade de São Paulo / Escola de Engenharia de São Carlos,

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 – CP 359 CEP 13560-970 São Carlos – SP, Brasil

Email: [Armattos@sc.usp.br](mailto:Armattos@sc.usp.br), web page: <http://www.shs.eesc.sc.usp.br>

*RESUMO O trabalho tem como objetivo a aplicação de um modelo climático urbano de balanço de energia, adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió – AL, de forma a auxiliar o planejamento urbano na orientação das diversas tipologias dos espaços, no teste de soluções e na previsão de possíveis efeitos térmicos de diferentes usos do solo urbano. A avaliação do potencial do modelo, após ajuste entre valores de temperatura do ar observados e calculados de frações urbanas distintas, mostrou a utilidade dessa ferramenta no teste de soluções e previsões dentro de problemas relativos ao planejamento e controle térmico de ambientes urbanos. Do mesmo modo, as simulações de situações futuras realizadas em frações urbanas diferenciadas mostram a importância de se prever possíveis alterações térmicas em consequência de mudanças a que estão sujeitas as cidades.*

*ABSTRACT This work shows the application of a climate model of urban energy balance adapted to the typical climatic conditions of Maceió – AL, to subsidize the urban planning, identifying the space typology on air temperature, testing solutions and predicting future situations and possible thermal effects of different land use. The results confirmed, after the calibration between observed and calculated temperature values, the relevance of that instrument in tests and provisions of problems involving urban planning and urban thermal control. In the same case, the simulations of future*

*situations in three different parts of the city showed the importance of thermal alterations caused by city's modification and growth pattern.*

## **1 Introdução**

Os estudos de processos de fluxos de energia, umidade e massa em ambientes urbanos permitem uma melhor caracterização da superfície atmosférica afetada pela urbanização. A modelagem matemática é um recurso importante para o entendimento dos processos atmosféricos, a previsão de fenômenos, além de se constituir, até certo ponto, como uma alternativa aos trabalhos de campo para obtenção de dados.

Para identificação das características da superfície urbana e das mais importantes destas na determinação do clima urbano, muitos modelos matemáticos (Myrup, 1969; Carlson & Boland, 1978; Tso et al., 1990; Oke et al., 1992, entre outros) são elaborados com base no entendimento do balanço de energia urbano, visando sua aplicação, entre outras áreas, no planejamento das cidades.

Este trabalho tem como objetivo principal a análise do conforto térmico em ambientes urbanos através da aplicação de um modelo climático de balanço de energia, adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió (AL), de forma a auxiliar o planejamento urbano na orientação das diversas tipologias dos espaços, no teste de soluções e na previsão de possíveis efeitos térmicos de diferentes usos do solo urbano (Barbirato, 1998).

A partir de dados colhidos em trabalho experimental – medições de temperatura do ar em frações urbanas distintas -, procedeu-se ao ajuste de um modelo de balanço de energia às condições climáticas típicas da cidade. Por fim, foi feita a avaliação do potencial do modelo, quanto à sua aplicabilidade e sensibilidade às variações observadas.

## **2 A Área de Estudo e o Trabalho Experimental**

A cidade de Maceió, capital de Alagoas, está localizada no litoral do Nordeste do Brasil, entre a latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste, às margens do Oceano Atlântico, com temperatura média anual de 25,4°C e variação anual de 3,4°C e uma alta umidade relativa média (78%). Está sob influência alternada dos ventos dos quadrantes Sudeste, mais freqüente, e Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março) e pluviosidade média anual de 1654mm, com meses mais chuvosos de abril a julho.

As medições de temperatura do ar foram efetuadas em três pontos da cidade: ponto 1, fração urbana mista, com algumas edificações térreas e alguma verticalização; ponto 2, fração urbana verticalizada; e ponto 3, constituída de edificações térreas. Os resultados das temperaturas do ar nos pontos observados, bem como valores obtidos, para o mesmo período, em estação meteorológica de referência, são mostrados na figura 1. Em Barbirato(1998), tem-se a descrição detalhada do trabalho de campo efetuado.

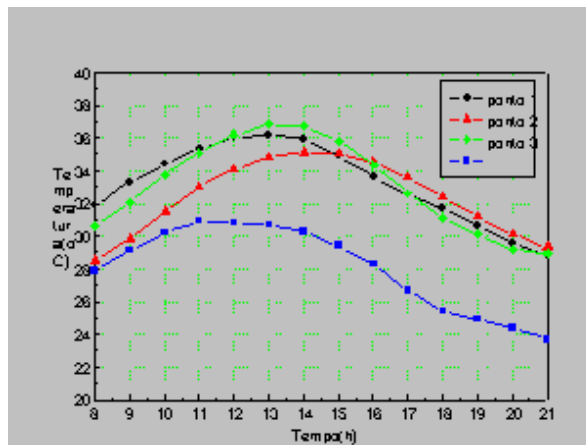


Fig.1 Temperaturas do ar médias para o período observado.

### 3 Aplicação do Modelo de Balanço de Energia

O trabalho experimental permitiu o ajuste e aplicação de um modelo de balanço de energia para as condições climáticas e de superfície de Maceió-AL. A partir da obtenção dos resultados simulados pelo modelo, foi possível avaliar o potencial desse instrumento frente às diversas situações estudadas, na identificação dos efeitos das diversas tipologias dos espaços urbanos observados nos microclimas locais e na simulação de situações futuras (previsões).

O modelo climático de balanço de energia adotado é o proposto em Tso et al. (1990), e foi selecionado especialmente porque foi aplicado para uma cidade tropical de baixa latitude e clima quente e úmido, com perfil climático, portanto, semelhante à região estudada. Representa o balanço de energia em um plano da superfície urbana sob a seguinte equação:

$$M = R - H - LE - S \quad (2)$$

onde:

$M$  = armazenamento de energia térmica ( $W/m^2$ ), dado por  $M = m_c C_c \frac{dT_o}{dt}$ , onde:

$m_c$  = massa construída por unidade de área ( $kg/m^2$ )

$C_c$  = calor específico da massa construída, à pressão constante ( $kJ/kgK$ )

$\frac{dT_o}{dt}$  = taxa de mudança da temperatura do ar, em relação ao tempo.

$R$  = fluxo de radiação líquida ( $W/m^2$ );

$H$  = fluxo de calor sensível para o ar ( $W/m^2$ );

$L$  = calor latente da água ( $J/kg$ );

$E$  = taxa de evaporação (portanto,  $LE$  é o fluxo de calor latente) ( $kg/m^2s$ );

S = fluxo de calor no solo (W/m<sup>2</sup>).

Para os demais fluxos, são utilizadas as equações clássicas utilizadas em modelos correntes (detalhadas em Barbirato, 1998). O ajuste do modelo às condições climáticas típicas de Maceió e as simulações nas frações urbanas foram realizadas mediante implementação computacional (Barbirato, 1998). O resumo final dos dados de entrada são mostrados na tabela 1:

**Tab.1 Parâmetros de entrada iniciais utilizados para ajuste do modelo**

PARÂMETRO	VALOR	FONTE
Calor Específico do ar, Cp	1006 Jkg <sup>-1</sup> ° C-1	Holman, 1983
Densidade do ar, ρ a	1,177kgm <sup>-3</sup>	Holman, 1983
Calor Específico do solo, Cs	1185 Jkg <sup>-1</sup> ° C-1	Oke, 1996
Densidade do solo, ρ s	1800 kgm <sup>-3</sup>	Oke, 1996
Condutividade Térm. solo, ks	1,225 Wm <sup>-1</sup> ° C-1	Oke, 1996
Calor Espec. do concreto, Cc	880 Jkg <sup>-1</sup> ° C-1	Holman, 1983
Calor Lat. Evapor., L	2,437 x 10 <sup>6</sup> Jkg <sup>-1</sup>	Oke, 1996
Massa Média de Concreto, mc	mc1 = 627,65 kg/m <sup>2</sup> ; mc2 = 1.211,08 kg/m <sup>2</sup> ; mc3 = 420,20 kg/m <sup>2</sup>  mc estação = 10 kg/m <sup>2</sup> (valor estimado)	Valores Calculados
Constante de Von Kármán, K	0,4	Tso et al.1990
Radiação Líquida, R	Valores calculados:	
Vel. Vento a 300m, U2	9m/s	Valor calculado
Temp. ar a 300m, T2	25° C	Tso et al.1990
Umid. Espec. a 300m, q2	0,003	Tso et al.1990
Fração da Evap. Na Sup. , Ef	10%	Tso et al.1990
Profund. do Solo, 2d	0,20m	Tso et al.1990
Temp. do Solo em 2d, Tb	25° C	Tso et al.1990

Fonte: Barbirato (1998)

Após o devido ajuste dos parâmetros, obteve-se boa correspondência entre o modelo e as medições no efeito diferenciado da temperatura do ar para os pontos estudados. As

figuras 2, 3 e 4 mostram as temperaturas médias do ar observadas e simuladas. Note-se que a concordância é muito boa, considerando-se os valores aproximados (ou considerados do modelo original), além da estimativa de cálculo de diversos parâmetros de entrada.

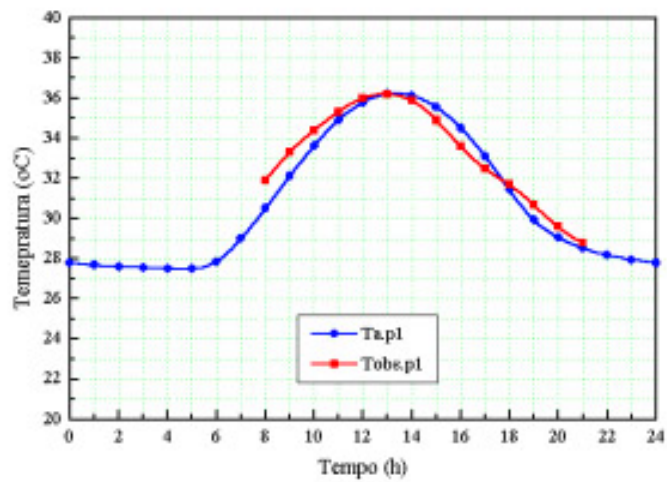


Fig.2 Comparação entre as temperaturas do ar observadas e simuladas do ponto de observação 1.

Tap1 = temperatura do ar calculada (simulada); Tobs.p1 = temperatura do ar observada (medida).

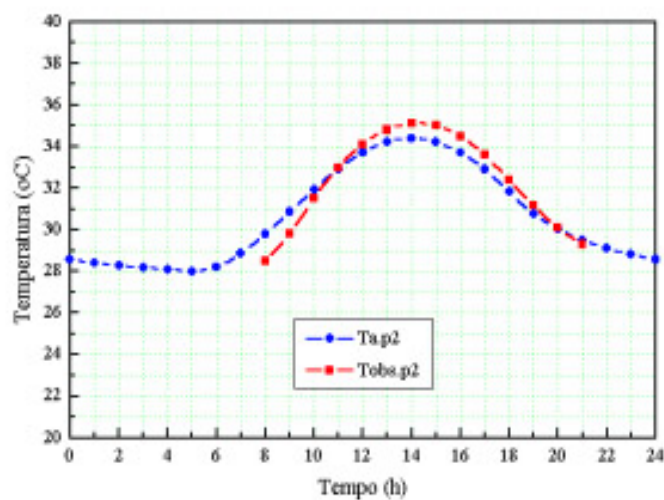


Fig.3 Comparação entre as temperaturas do ar observadas e simuladas do ponto de observação 2, Tap2 = temperatura do ar calculada (simulada) e Tobs.p2 = temperatura do ar observada (medida).

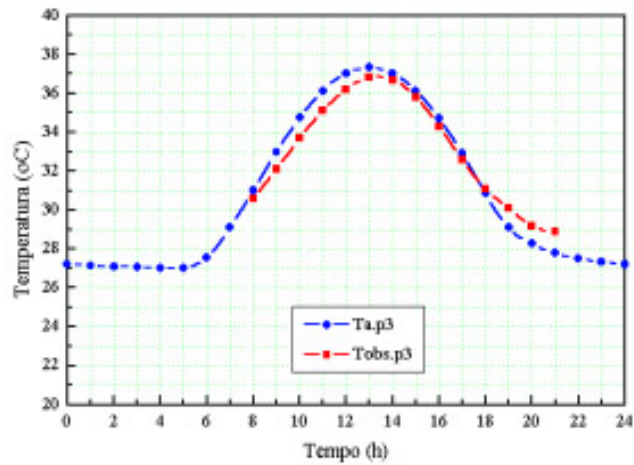


Fig.4 Comparação entre as temperaturas do ar observadas e simuladas do ponto de observação 3. Tap3 = temperatura do ar calculada (simulada) e Tobs.p3 = temperatura do ar observada (medida).

### 3.1 Simulação de situações futuras

Alguns testes simulando possíveis situações futuras de configuração urbana para os pontos estudados, como o aumento da massa construída (resultante de possível verticalização dessas áreas) e conseqüente aumento do comprimento de rugosidade, mostram comportamento diferenciado da curva de temperatura diária do ar, resultando em diminuição e deslocamento do valor da temperatura máxima, como mostram as Figs. 5 e 6, além de menor resfriamento das superfícies após o pôr do sol.

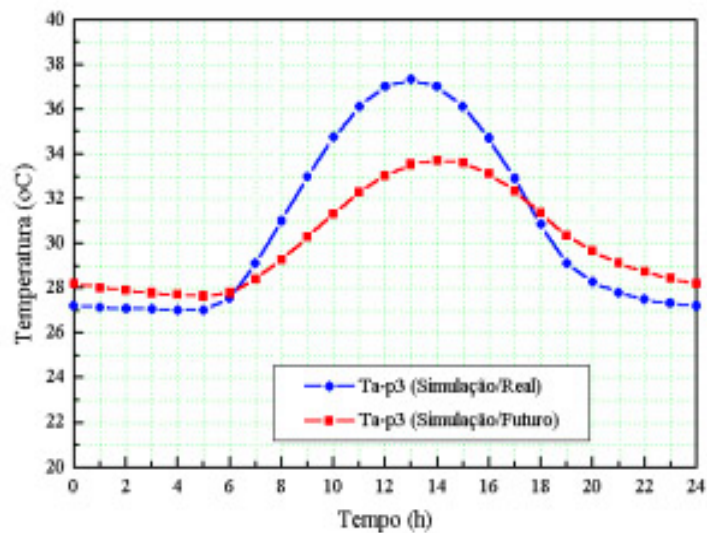


Fig.5 Simulação de situação futura - ponto 3.

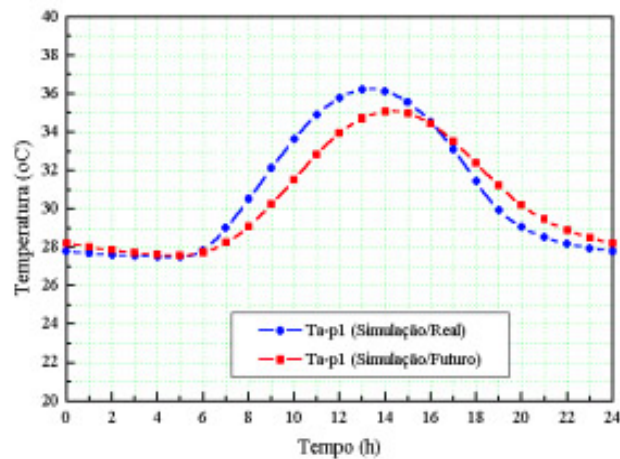


Fig.6 Simulação de situação futura - ponto 1.

### 3.2 Avaliação do Modelo

De um modo geral, o modelo adaptado é de fácil aplicação, embora solicite grande quantidade de parâmetros de entrada. Mostrou-se sensível às configurações urbanas distintas, podendo, portanto, ser útil no teste de soluções e previsões dentro do planejamento e controle térmico de ambientes urbanos.

Quanto às suas limitações, o modelo não considera, entre outros fatores, a contribuição do calor antropogênico no ambiente térmico da cidade e possíveis efeitos de nebulosidade. Admite, ainda, uma única temperatura de equilíbrio da superfície, e não considera a complexidade geométrica de uma estrutura urbana. Por outro lado, inclui o cálculo da massa de construção urbana, importante parâmetro na determinação da influência da morfologia urbana nas condições térmicas de um determinado local.

### 4. Conclusões

o modelo numérico climático urbano adaptado mostrou microclimas diferenciados dentro de frações distintas do ambiente urbano e os impactos térmicos conseqüentes, bem como a simulação de situações térmicas possíveis com maior adensamento nesses espaços.

Sabe-se que uma das dificuldades encontradas em trabalhos de simulação consiste na escassez de parâmetros de entrada físicos e meteorológicos, o que leva a estimativas ou suposições baseadas em informações disponíveis, muitas vezes não apropriadas para a realidade local. Essa dificuldade impede maior avanço no campo da simulação climatológica urbana, que só se verificará com a realização de maior número de investigações que digam respeito a dados climáticos para as regiões tropicais.

É importante que se desenvolvam pesquisas que auxiliem o planejador urbano quanto à possibilidade de trabalhar com simulações urbanas que mostrem diversas alternativas de organização dos espaços urbanos, fundamentadas em critérios ambientais, entre os quais, o de conforto térmico dos ambientes urbanos.

### 5 Referências Bibliográficas

Barbirato, G. M. (1998). *Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió – AL*. Tese de Doutorado, SHS, EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

Bornstein, R.D. (1986). Urban climate models: nature, limitations and applications, in T.R. Oke (ed.), *Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas*. Mexico, 1984. *Proceedings*. Geneva, World Meteorological Organization, Geneva, p.199-236 (WMO n.652).

Carlson, T.N. & Boland, F.E.(1978). Analysis of urban - rural canopy using a surface heat flux / temperature model, *Journal of applied meteorology* n.17, pp.998-1013.

Holman J.P. (1983), *Transferência de calor*, McGraw Hill do Brasil, São Paulo.

Myrup, L.O.(1969) A numerical model of the urban heat island., *Journal of applied meteorology* n.8, p.908-918. corrigendum, *Journal of applied Meteorology* n.9, p.54, 1970.

Oke, T.R. (1996). *Boundary layer climates*, Routledge, New York.

Oke, T.R., ed.(1986), Technical Conference on Urban Climatology and its applications with Special Regard to Tropical areas, *Proceedings* ,Mexico, 1984, WMO n.652.

Oke, T.R., Taesler, R. and Olsson, L.(1991). The tropical urban climate experiment (TRUCE), *Energy and Buildings*, vol.15-16, n. 1-2, pp.67-73.

Oke, T.R.; Zeuner, G.; Jaureghi, E.(1992). The surface energy balance in Mexico City, *Atmospheric Environment*, vol. 26B, n. 4, pp.433-444.

Terjung, W.H., & O'Rourke, P. A.(1980). Simulating the causal elements of urban heat islands, *Boundary-Layer Meteorology*, n.19, pp.93-118.

Tso, C.P.(1996). A survey of urban heat island studies in two tropical cities, *Atmospheric Environment*, vol.30, n. 3, pp. 507-519.

Tso, C.P., Chan, B.K. and Hashin, M.A.(1990). An improvement to the basic energy balance model for urban thermal environment analysis, *Energy and Buildings*, n.14, pp.143-152.