

ILHA DE CALOR: REFLEXÕES ACERCA DE UM CONCEITO

Heat island: reflections on a concept

Isla del calor: reflexiones sobre un concepto

Edson Soares Fialhoⁱ
Universidade Federal de Viçosa

Resumo

O conceito de ilha de calor está relacionado às atividades humanas sobre a superfície e sua repercussão na troposfera inferior, ainda assim, não está claro, na literatura, em que momento ou qual diferença de temperatura do ar se pode atestar a existência do fenômeno em questão. Além dessa vulnerabilidade conceitual, hoje existem novas possibilidades de identificar a ilha de calor, tais como: registradores contínuos de temperatura do ar e umidade relativa (data-loggers), balões meteorológicos e imagens de satélites, que permitem novas observações, leituras e correlações combinadas entre a geometria urbana e os parâmetros climáticos. Neste contexto de inovações tecnológicas, o presente trabalho tem como objetivo discutir se o conceito de ilha de calor empregado, no início do século XIX, pode ser utilizado nos atuais estudos de clima urbano da mesma maneira. Ou será que as diferenças inerentes aos novos métodos de observação identificam tipos diferentes de ilhas de calor?

Palavras-chave: ilha de calor; cidade; métodos.

Abstract

The concept of heat island is related to human activities on the surface and its effect on the lower troposphere, yet it is not clear in the literature, at what time or what difference in air temperature can attest to the existence of the phenomenon in question. Besides this conceptual vulnerability, there are now new possibilities to identify the heat island, such as: continuous recorders of air temperature and relative humidity (data-loggers), weather balloons and satellite imagery, allowing new observations readings and correlations combined between urban geometry and climate parameters. In this context of technological innovations, this paper aims to discuss the concept of heat island employed at the beginning of the 21th century, can be used in current studies of urban climate in the same way. Or it will be the differences inherent in the new observation methods identify different types of heat islands?

Keywords: island heat; city; methods.

Resumen

El concepto de isla de calor se relaciona con las actividades humanas en la superficie y su efecto en la baja troposfera, sin embargo, no está claro en la literatura y en qué momento o lo que la diferencia en la temperatura del aire puede dar fe de la existencia del fenómeno en cuestión. Además de esta vulnerabilidad conceptual, ahora hay nuevas posibilidades para identificar la isla de calor, tales como: grabadoras continuas de la temperatura del aire y la humedad relativa (data-loggers), globos meteorológicos y las imágenes de satélite, permitiendo que las nuevas observaciones, lecturas y las correlaciones combinado entre la geometría urbana y los parámetros climáticos. Em este contexto de innovaciones tecnológicas, este trabajo tiene como objetivo discutir El concepto de isla de calor empleados en El siglo XIX, se puede utilizar em los estúdios actuales de clima urbano de La misma manera.¿O las diferencias inherentes a los métodos de observación nuevos identificar los diferentes tipos de islas de calor?

Palabras clave: isla de calor; ciudad; métodos.

INTRODUÇÃO

A expansão da mancha urbana intensifica os fluxos intra-urbanos, além de incrementar a densidade da área construída. Esta diferenciação em relação ao campo acarreta uma diferença no tempo de absorção da energia solar disponível durante o dia e da reemissão da energia terrestre à noite. A consequência deste novo balanço de energia é o resfriamento mais lento da cidade, após o pôr-do-sol.

O contraste entre os ambientes urbano e

rural, identificado por Evelyn (1661) e Howard (1883) em Londres (MORENO GARCIA, 1999), constatou que a cidade à noite apresentava uma maior temperatura do ar em relação ao seu entorno, utilizando-se para isto estações meteorológicas urbanas e rurais, que muitas são restritas no espaço.

Porém, a partir da década de 1920, quando os estudos do clima da cidade ganharam maior projeção, estes ampliaram o número de pontos amostrais, com a utilização de transetos ou por meio de uma rede de

monitoramento experimental temporário, possibilitando construir uma configuração espacial da temperatura do ar.

A partir disto, em 1960 Gordon Manley, cunhou o termo ilha de calor (ALCOFORADO, 1993), que pode ser mais bem compreendido quando nos defrontamos com um mapa topográfico, que comunica ao leitor através das curvas de nível as cotas altimétricas, os locais de maior e menor altitude.

Embora, o termo ilha de calor tenha hoje se transformado em um conceito, este carrega em si muitas incertezas, porque não há um critério claro e objetivo que o defina. Por exemplo, ao se comparar dois locais com o mesmo uso da terra, mas em vertentes com maior e menor insolação, isso acarretaria uma diferenciação da temperatura do ar entre os locais, contudo, isso não é suficiente para dizer que exista uma ilha de calor.

Neste caso, acredito que a melhor terminologia seria *núcleo de calor*, uma vez que a orientação das vertentes é o fator responsável pela diferença que possa existir entre ambientes homogêneos. A princípio, o conceito de ilha de calor está relacionado às atividades humanas sobre a superfície e sua repercussão na troposfera inferior, ainda assim, não está claro, na literatura, em que momento ou qual diferença de temperatura do ar se pode atestar a existência do fenômeno em questão.

Além dessa vulnerabilidade conceitual, hoje existem novas possibilidades de identificar a ilha de calor, tais como: registradores contínuos de temperatura do ar e umidade relativa (data-loggers), balões meteorológicos e imagens de satélites, que permitem novas observações, leituras e correlações combinadas entre a geometria

urbana e os parâmetros climáticos. Neste contexto de inovações tecnológicas, o presente trabalho tem como objetivo discutir se o conceito de ilha de calor empregado, no início do século XIX, pode ser utilizado nos atuais estudos de clima urbano da mesma maneira. Ou será que as diferenças inerentes aos novos métodos de observação identificam tipos diferentes de ilhas de calor?

O CLIMA DA CIDADE

As áreas urbanas concentram cerca de 50,0% da população mundial (POPULATION REFERENCE BUREAU, 2007). Porém, seu crescimento no espaço, ao longo do século XX, se apresentou de maneira intensa e desigual.

As cidades dos países tropicais registraram um ritmo mais intenso em decorrência do processo de urbanização e industrialização tardia, muito embora, ainda nos países desenvolvidos, as cidades concentrem um maior percentual de população com, 72,0%, do que nos países em desenvolvimento, com 42,6%.

Em razão da preocupação com aumento da população urbana no mundo, o estudo do clima das cidades vem ganhando importância. Contudo, apenas na década de 1970, começa a se identificar publicações de trabalhos de clima urbano em latitudes tropicais (JAUREGUI, 1993 e MONTEIRO, 1984).

Todavia, apesar do esforço de alguns pesquisadores de países tropicais, a distribuição espacial das pesquisas relacionadas ao clima da cidade continua concentrada nas cidades de latitudes médias com cerca de 90,0% (ARNIFIELD, 2003).

Apesar da forte disparidade espacial Fialho e Azevedo (2006), observam que este levantamento internacional, apenas

contabiliza as publicações em língua inglesa nos periódicos de referência sobre a temática. Esse critério desconsidera o aumento da produção brasileira, que registrou um grande crescimento do número de publicações, após a criação do Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG), conforme verificou Fialho (2010).

A expansão da cidade é muitas vezes vista como um símbolo do progresso do mundo moderno, que se distingue do mundo rural, representante da imagem do retrocesso. Entretanto, na medida em que as cidades se expandem em tamanho e população, as alterações inerentes ao processo de modificação da paisagem afetam as condições essenciais à vida urbana, tais como a água, o solo e o ar, afetando o clima.

Os fatores responsáveis pela formação do clima urbano criam condições de dotar a cidade de características particulares, que a diferenciam do entorno, tanto assim, que a consequência principal do processo de urbanização é o surgimento do fenômeno Ilha de calor, que se desenvolve na cidade, de acordo com a evolução do processo de crescimento da malha urbana, como verificado

nos estudos desenvolvidos por Lansberg e Maisel (1972), em Maryland; Hsu (1984) em Phoenix; Lee (1992) em Londres e Magee et. al. (1999) no Alaska.

Além dos fatores citados, o tamanho da cidade (OKE, 1973), a velocidade do vento (OKE, 1982) e a geometria dos vales e dos prédios, podem auxiliar na formação da ilha de calor urbana. Essas causas primárias de acordo com Rizwan et. al. (2008) podem ser representadas na Figura 1.

Em relação a estes fatores, Oke (1973) desenvolveu algumas correlações. A primeira foi estabelecida entre a intensidade da ilha de calor e o tamanho da população urbana em cidades canadenses (EQUAÇÃO 1) e européias (EQUAÇÃO 2). Este modelo numérico é muito questionável, pelo fato de não considerar outras razões atuantes e acabaram por gerar resultados superestimados para cidades tropicais.

Porém, a correlação é muito empregada em vários trabalhos, destacando-se os realizados nas cidades australianas –Equação 3– (TOROK et. al., 2001) e norte-americanas (KARL et. al., 1988) –Equação 4.

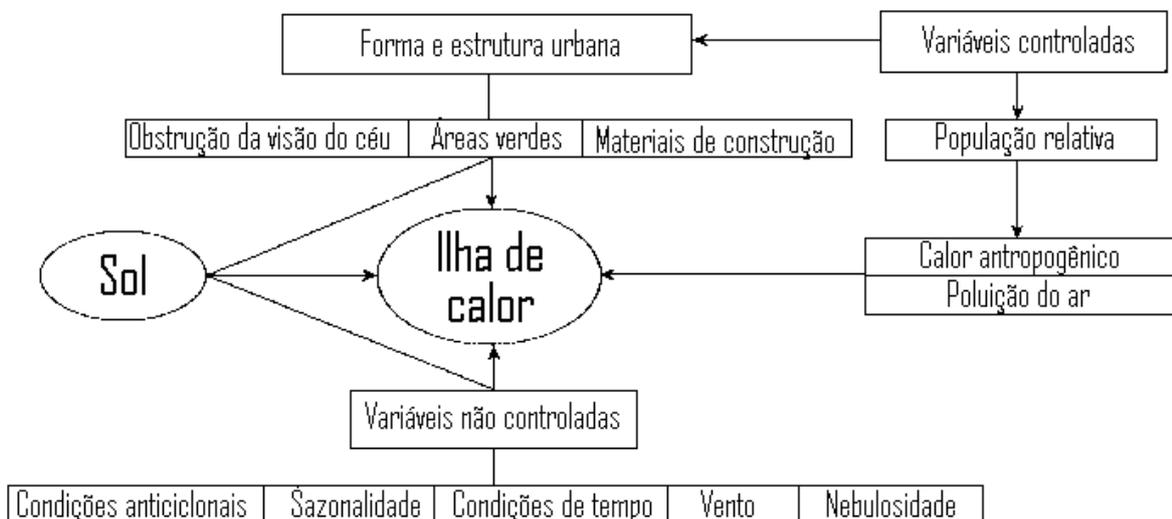


FIGURA 1 - Variáveis controladas ou não responsáveis pela formação da ilha de calor.
Fonte: adaptado a partir de Rizwan et. al. (2008, p. 121).

Equação 1:

Cidades canadenses.

$$\Delta T_{u-r} = 2,96 \log P - 6,41 \quad (r^2 = 0.96)$$

Equação 2:

Cidades europeias.

$$\Delta T_{u-r} = 2,96 \log P - 4,06 \quad (r^2 = 0.74)$$

Equação 3:

Cidades australianas.

$$\Delta T_{u-r} = 1,42 \log P - 2,02$$

Equação 4:

Cidades norte-americanas.

$$\Delta T_{u-r} = a (\text{POP})^{0.45}$$

O coeficiente a depende do elemento:

a = $-3,9 \times 10^{-4}$ - Temperatura máxima

a = $3,61 \times 10^{-3}$ - Temperatura mínima

a = $-0,77 \times 10^{-3}$ - Temperatura máxima - população > 10.000

a = $5,12 \times 10^{-3}$ - Temperatura mínima - população > 10.000

Antes mesmo destes autores, Sundborg (1950) desenvolveu uma fórmula empírica para a variação termal entre o campo e a cidade, por meio de elementos climáticos, como a cobertura de nuvens e a intensidade dos ventos. Sua fórmula - Equação 5 - para o período diurno é:

Equação 5:

$$\Delta T = 1,4^\circ\text{C} - 0,01n - 0,09V - 0,01T + 0,04e$$

ΔT - diferencial térmico.

n - nebulosidade em décimos.

V - intensidade do vento em m/s.

T - temperatura em $^\circ\text{C}$.

e - umidade absoluta em g/m^3 .

No caso da Equação 5, Landsberg em 1956 (*apud* TARIFA, 1977) propôs uma simplificação - equação 6 - do tipo:

Equação 6:

$$\Delta T = \frac{4,6 - 0,28n}{V}$$

ΔT - diferencial térmico.

n - nebulosidade em décimos.

V - intensidade do vento em m/s.

A segunda correlação desenvolvida foi estabelecida entre a intensidade do vento e o tamanho da população (EQUAÇÃO 7). Segundo Oke (1981), há uma velocidade crítica do vento na qual a Ilha de calor seria desfigurada ou atenuada.

Equação 7:

$$\Delta T_{u-r} = AP^{1/4} \cdot U^{1/2}$$

onde:

ΔT_{u-r} = Intensidade da ilha de calor ($^\circ\text{C}$). A = coeficiente empírico. P = População. U = Velocidade do vento regional (m/s)

Uma terceira correlação sugerida por Oke (1981) consiste em associar a geometria dos vales urbanos com a intensidade máxima da ilha de calor (EQUAÇÃO 8). Esta correlação pode ser expressa através da relação entre altura dos edifícios (H) e a distância entre eles (W), cujo cálculo sugerido é:

Equação 8:

$$\Delta T_{u-r} = 7,45 + 3,97 \cdot (H/W)$$

Por último, a relação estabelecida entre altura-distância dos edifícios, gerando os chamados "*canyons (vales)*" urbanos, também suscitou a utilização de outra técnica denominada de "*Sky View Factor*" (*Fator de Obstrução do Céu*) - SVF. Esta mede o nível de obstrução do céu, expressa através da Equação 9.

O SVF, utilizado em estudos, comprova a correlação existente entre as áreas de pico de ilha de calor urbana e a densidade de construção em diferentes cidades (OKE, 1981 e HASENACK; FLORES, 1994).

Equação 9:

$$\Delta T_{u-r} = 15,27 - 13,88 \cdot \text{SVF}$$

Segundo Grimmond (2006), a partir da utilização de novas inovações tecnológicas, a

climatologia urbana se desenvolveu muito, através do uso de novos instrumentais empregados nos experimentos de campo, assim como na utilização de modelos matemáticos. Apesar dos avanços, muitos trabalhos, atualmente, assim como nos primeiros estudos de clima urbano, se dedicam a identificar as diferenças dos parâmetros climáticos entre o meio urbano e o rural, em decorrência da expansão das cidades, que propiciaram a formação de um clima local diferente da área do entorno (BEJARÁN; CAMILLONI, 2003 e YOW; CARBONE, 2008).

Muito em função do maior acesso aos dados, visto que a cidade dispõe de informações de estações meteorológicas da rede oficial, localizada na área urbana, além daquelas instaladas em aeroportos, campus universitários, dentre outros, que são tomadas como representativas de ambientes rurais.

Este método, contudo, atualmente, cria um problema, principalmente, quando se tenta estabelecer uma comparação entre cidades diferentes, pois não há um critério comum de identificação do que seja rural ou urbano em estudos de clima urbano.

Na literatura de maneira geral há centenas de significados que podem ser encontrados para estes termos, o que implica na impossibilidade de se estabelecer comparações entre cidades distintas, como você pode observar em alguns exemplos identificados no quadro 1.

Infelizmente, esta limitação ainda não foi resolvida, mas propostas para a solução do problema estão em curso como a confeccionada por Oke (2006), em que sugere o estabelecimento de uma padronização do critério de definição do que seja urbano e rural, a partir da taxa de impermeabilização ou (área construída) da superfície, que melhor pode ser visto no aprofundamento da proposta elaborado por Stewart (2007 e 2009).

Junto a isso, novas possibilidades de se identificar à ilha de calor foram desenvolvidas, como a partir de balões meteorológicos, imagens termais em plataformas de observação instaladas em satélites ou aviões. Entretanto, as formas desenvolvidas não permitem dizer que se observa o mesmo fenômeno, conforme pode ser visto na Figura 2.

Urbano	Rural	Urbano e rural
Jardim Botânico (Syrakova e Zaharieva, 1998).	Campos de arrozais (Sakakibara e Matsui, 2005).	Aeroportos (Adebayo, 1991).
Parque urbano (Gedzelman et al. 2005).	Reserva ecológica (Jauregui, 1997).	Instituto meteorológico (Robaa, 2003).
Hospital (Tumanov et. al. 2005).	Tundra artica (Hinkel et. al. 2003).	Campus universitários (Parry, 1996).
Shopping center (Landsberg e Maisel, 1972).	Deserto (Hedquist e Brazel, 2006).	Observatórios do tempo (Zhou, 1990).
Postos de Bombeiros (Bowling e Benson, 1978).	Florestas tropicais (Chow w Roth, 2006).	Jardins de escola (Okoola, 1980).
Quadra urbana (Unger, 1996).	Seringais (Emmanuel e Johansson, 2006).	
Canyon urbano (Eliasson, 1994).	Pomares (Tso, 1996).	
Estaleiro (Moreno-Garcia, 1994).	Fazendas experimentais (Bohm, 1988).	

QUADRO 1 - Exemplos de ambientes rurais e urbanos para alguns estudos de clima urbano.

Fonte: Adaptado a partir de Stewart (2007, p. 113).

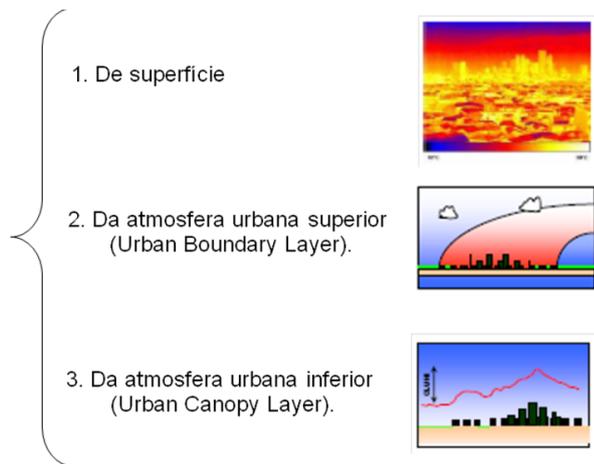


FIGURA 2 - Tipos de ilhas de calor.
Fonte: Oke (1978) e Voogt e Oke (1997).

OS TIPOS DE ILHAS DE CALOR

Neste item, o objetivo é procurar demonstrar as diferenças inerentes a cada tipo de ilha de calor, de acordo com os métodos e técnicas empregadas no processo de registro da temperatura, que pode ser do ar ou de superfície. A ilha de calor atmosférica denuncia as modificações de certos parâmetros da camada basal da troposfera, por meio da diferença dos tipos de uso da terra e cobertura entre as paisagens urbanas e rurais.

Segundo os primeiros estudos, a ilha de calor atmosférica apresenta uma variabilidade temporal, e é mais evidente no período noturno. Estudos realizados sobre a temática em Buenos Aires (BEJARÁN; CAMILLONI, 2003), Nova Iorque, (GEDZELMAN et. al., 2003), Lisboa (ALCOFORADO; ANDRADE, 2006) e Debrecen (BOTTYÁN et. al. 2005), reforçam a característica de o fenômeno ser noturno e ocorrer entre 3 a 5 horas após o pôr-do-sol, conforme Oke já apontava em seus estudos em 1981 e 1982.

ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA

Entretanto, pesquisas desenvolvidas em Vancouver (RUNNALS; OKE, 2000) e Szeged

(SUMEGHY; UNGER, 2003) identificaram que a intensidade máxima da ilha de calor pode ocorrer entre 6 e 7 horas após o pôr-do-sol.

Apesar dos estudos em cidades de latitudes médias confirmarem o caráter noturno do fenômeno, algumas pesquisas realizadas em cidades tropicais identificaram que a intensidade máxima da ilha de calor atmosférica ocorre no período diurno, como verificado em Temuco (STEFFES et. al., 2001), Toluca (MÉNDEZ, 1993 e MÉNDEZ et. al., 2008), Juiz de Fora (MARTINS, 1996) e Rio de Janeiro (BRANDÃO, 1996, 2001 e FIALHO, 2002).

Cabe salientar, que estas diferenças podem estar associadas a dois fatores. O primeiro é a própria localização latitudinal, determinante na variabilidade sazonal da duração do dia e da noite, e, por conseguinte da oscilação diária da temperatura. O segundo, na escala topoclimática, é a orientação das vertentes, fator este que facilita ou não a chegada dos raios do sol ao longo do dia, por conta da influência do sombreamento e do acúmulo de ar frio no fundo do vale durante a madrugada. Este fator é tão relevante, que caso uma cidade esteja situada em um eixo de vale orientado para o quadrante norte, no hemisfério sul, a mesma apresentará uma grande incidência de raios solares, o que definirá um topoclima distinto, capaz de registrar temperaturas mais elevadas ao longo do dia, mesmo não apresentando a presença de ocupação humana, se comparado a outros vales de orientações voltadas para o quadrante sul (OLIPHANT et. al. 2003).

A partir da identificação de alguns fatores formadores da ilha de calor, pode-se dizer que a cidade altera o ritmo de aquecimento e resfriamento da superfície em

função do adensamento urbano, associado à atividade humana e as propriedades físicas dos materiais de construções. Em relação à representação espacial da ilha de calor atmosférica, esta pode ser representada ao longo de um perfil (transeto fixo ou móvel), que se inicie na área rural ao centro urbano, passando pelo subúrbio ou periferia será possível identificar uma mudança nos registros de temperatura do ar, conforme a Figura 3.

Como, também, pode ser visualizada em mapas termais, onde as isotermas podem ser confeccionadas com base em seus valores absolutos, registrados no campo ou relativos, obtidos, a partir da subtração do ponto de menor temperatura do ar em relação aos demais.

MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO DA ILHA DE CALOR ATMOSFÉRICA

A ilha de calor atmosférica é definida a partir da diferença de temperatura do ar observada dentro da área urbana ou em comparação com a área rural. Inicialmente, os pontos de observação utilizados para se definir

esta distinção eram as estações meteorológicas padrão, que a princípio tem o objetivo de observar a condição do ar livre na escala regional.

Com o processo de urbanização muitas das estações meteorológicas foram incorporadas pelas malhas urbanas, enquanto algumas poucas ainda conservam as características desde a sua implantação.

Nesse contexto, as observações da ilha de calor podem ser definidas por meio de estudo de tendência a partir de uma estação meteorológica, que inicialmente se encontrava em um ambiente rural, mas que ao longo do tempo pode ter sido incorporada a mancha urbana.

Uma segunda possibilidade é comparar a tendência da temperatura observada entre estações urbanas e rurais, a fim de identificar o aumento ou não da intensidade da ilha de calor, conforme os estudos desenvolvidos em Nova York (ACKERMAN, 1985), Ohio (SCHIMIDLIN, 1989) e Cidade do México (JAUREGUIL, 1993). Cabe salientar, que o método de identificação da ilha de calor tem como fator limitante, o número de estações, o

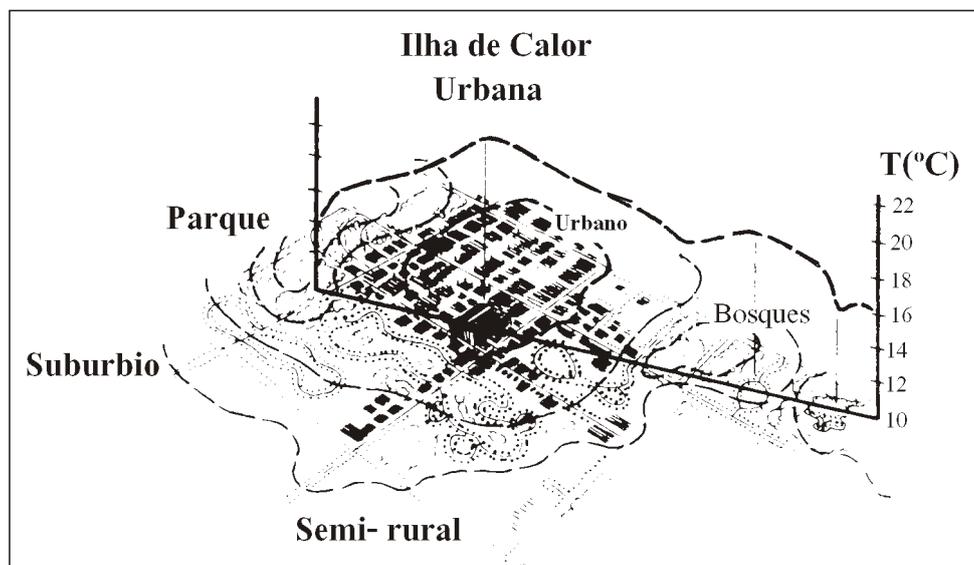


FIGURA 3 - Visualização em 3-D do perfil de temperatura do ar ao longo de um transeto, associado com o mapa de isotermas, representado pelas linhas tracejadas.

Fonte: Adaptado a partir de Marsh (1991, p.231).

advecção (ventos horizontais) sobre a cidade.

Assim, teoricamente, pode-se dizer que a camada limite urbana apresenta um perfil vertical térmico, diferente das áreas rurais, consequência do fluxo de calor sensível antropogênico, liberado pela camada intra-urbana, além de um previsível arrasto do ar friccionado em movimentações provocadas pela ilha de calor e das condições de tempo, o que vem a definir a constituição de uma ilha de calor vertical, como pode ser visto na Figura 5.

ILHA DE CALOR DE SUPERFÍCIE

De acordo com Mendonça (1994, p. 51), "... o campo térmico das cidades, enquanto subdivisão do clima urbano tem sido aquele no qual mais se tem empregado as imagens de satélites, notadamente no estudo das ilhas de calor urbano...". Isto se deve ao desenvolvimento de satélites com alta resolução espacial. As imagens provenientes do satélite NOAA/AVHRR (*Nacional Oceanic and Atmosphere Administration/ Advanced Very High Resolution Radionater*), com resolução espacial de 1,1 km (no Nadir), são aplicáveis

aos estudos climáticos dos grandes centros urbanos e em escala regional.

Já as imagens do satélite Landsat 5 e 7 (banda 6 - canal termal infravermelho - resoluções espaciais de 120 e 60 metros) têm se tornado importante ferramenta no estudo da configuração e da variação térmica no ambiente intra-urbano de cidades de médio e pequeno porte. O emprego de imagens do Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) no estudo das cidades tem sido considerado, conforme Mendonça (1994), satisfatório para a identificação e análise do uso e ocupação do solo.

Na literatura internacional é vasta a aplicabilidade deste recurso, derivado de satélites, na identificação da termografia infravermelha das cidades. Oke (2003) afirma que o advento da tecnologia do sensoriamento remoto termal, através de satélites e de plataformas em aeronaves, permitiu novas possibilidades de observações sobre as ilhas de calor urbano, bem como a compreensão de suas causas e combinações com os arranjos urbanos.

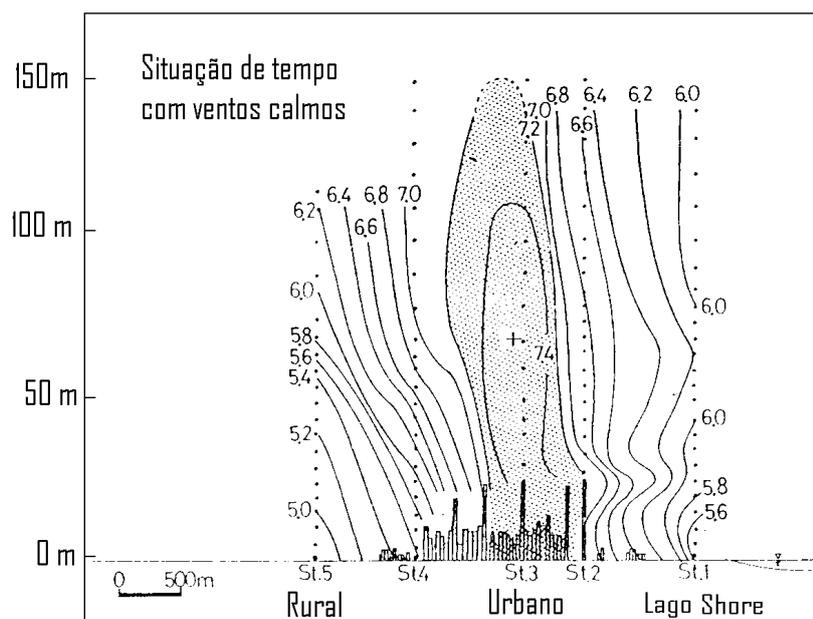


FIGURA 5 - Transeito vertical da temperatura do ar na cidade de Tsuchiura, Ibakari às 5:00 a. AM, no dia 30 de outubro de 1983.

Fonte: Nakagawa (1996, p. 218).

Sabe-se, que o desenvolvimento de ilha de calor atmosférica ocorre no UCL, pode ser captada por meio de observações tradicionais (transetos móveis e estações meteorológicas), mas permite apenas uma detecção ao nível pontual das condições térmicas da estrutura urbana. O uso de dados de satélites gera uma melhor apreensão das condições térmicas no contexto de toda a cidade (FIGURA 6), o que favorece o estabelecimento de relações entre as características térmicas dos elementos da superfície com a do ar, por meio de dados obtidos em observações de campo (OKE, 2003).

No entanto, o uso de dados de satélites limita a apreensão das condições térmicas da cidade ao nível dos telhados, o que difere das observações intra-urbanas. Mesmo que se utilize a temperatura do ar ao mesmo tempo em que se obtém a imagem termal, estes valores de superfície, apenas servirão para calibrar a imagem, não sendo possível dizer que a imagem termal equivale aos registros da temperatura do ar dentro da cidade, embora a espacialidade das temperaturas de superfície e do ar possa encontrar uma semelhança, conforme Cassels et. al. (1991) verificaram para

a cidade de Valência, Espanha, entretanto o satélite identificou uma intensidade de 4,5°C contra 3,0°C dos transetos móveis.

Em razão desta incompatibilidade, Voogt e Oke (1997) desenvolveram um novo conceito para os estudos de clima urbano, denominado de temperatura de superfície urbana completa, que procura agregar as observações ao nível dos telhados, junto com as da atmosfera. Segundo os mesmos autores, este procedimento procura calcular uma temperatura de superfície completa, que leva em conta as superfícies horizontais e verticais em áreas urbanas e assim reconhecer o impacto térmico em três dimensões do sistema, procurando fugir dos limites inerentes aos sensores remotos, e assim poder realmente mensurar a verdadeira contribuição dos diferentes tipos de uso da terra na atmosfera urbana, como pode ser visto na Figura 7.

O estudo pioneiro da ilha de calor de superfície, por meio de imagens termais, foi realizado por Rao (1972), o qual combinou os dados de satélite com medições de temperatura junto à superfície urbana. A partir deste, com o desenvolvimento dos satélites

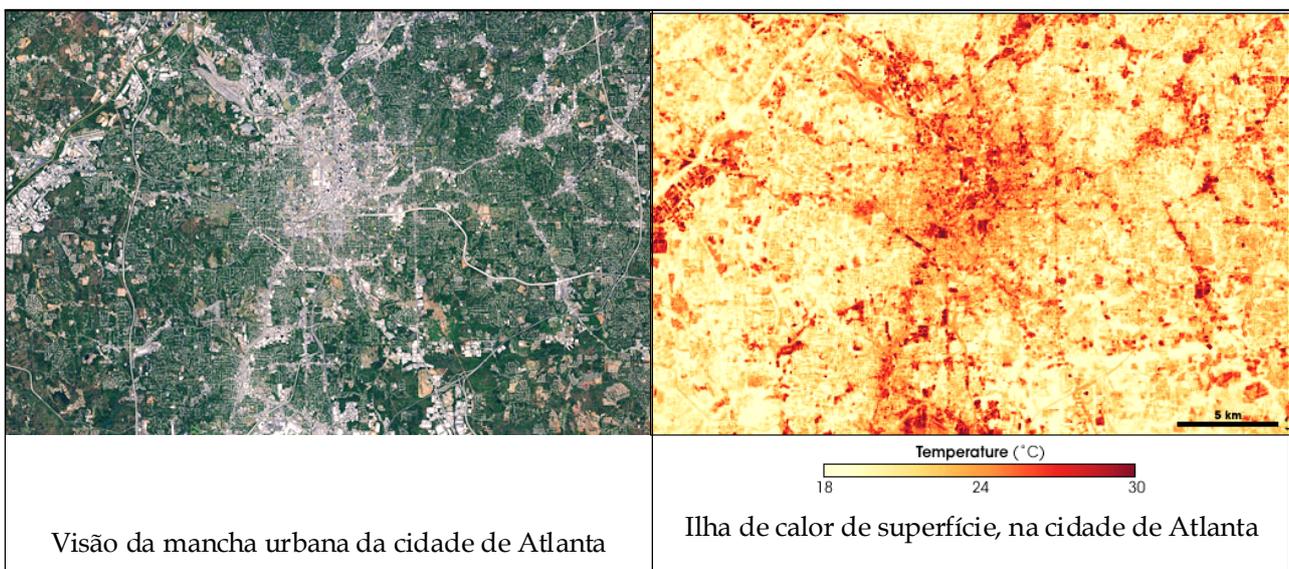


FIGURA 6 - Ilha de calor de superfície em Atlanta, Geórgia, EUA.

Disponível em: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17489.
Acessado em 25 de outubro de 2008.

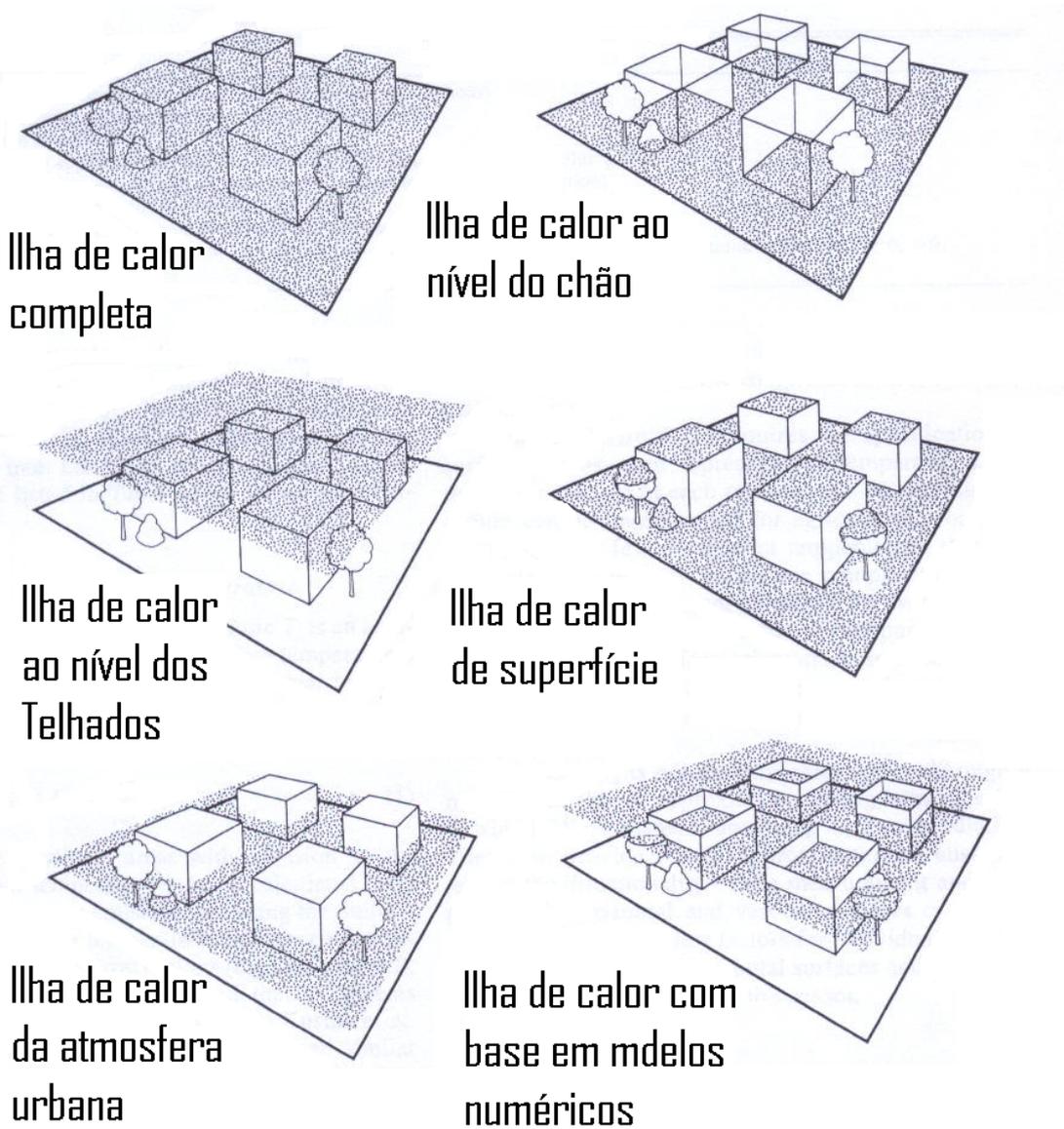


FIGURA 7 - Visualização do modelo proposto por Voogt e Oke de temperatura completa, assim como os demais tipos de temperatura do ar mensurada.
Fonte: Adaptado a partir de Voogt e Oke (1997).

NOAA/AVHRR e do LANDSAT (no infravermelho termal), muitos estudos sobre o campo térmico das cidades foram realizados.

No caso brasileiro, apesar de ser ainda pouco explorado, existem alguns estudos dos quais pode ser destacado o de Lombardo (1985), considerado por muitos como um clássico para a cidade de São Paulo, a partir do sensoriamento remoto.

Ao longo de seu trabalho Lombardo (1985) utilizou para o estudo imagens do satélite NOAA/AVHRR, que permitiram a identificação de maiores temperaturas no

centro da cidade. No entanto, em função da resolução espacial das imagens do satélite NOAA, não foi possível um melhor detalhamento das características térmicas do ambiente intra-urbano.

Apesar do esforço em se utilizar novas tecnologias nos estudos de clima urbano, Lombardo (1985) não distingue com rigor a ilha de calor de superfície, identificada a partir da imagem do LANDSAT, com ilha de calor atmosférica, obtidos através da leitura de transetos móveis e fixos. Este equívoco metodológico gera a impressão que estes dois

procedimentos identificam a mesma ilha de calor.

Muito embora, a espacialidade da ilha de calor de superfície possa se assemelhar com a ilha de calor atmosférica, é necessário reforçar, que a temperatura obtida pela leitura de sensores à distância é da superfície dos telhados e das copas de outros objetos.

Além disso, cabe esclarecer que a imagem de satélite é subdividida em pequenas unidades de área (pixel). E o resultado para cada pixel será a soma dos componentes individuais (árvores, vias, edifícios, zonas de sombra, etc.), ponderada por suas respectivas superfícies, refletindo, portanto, a temperatura do elemento mais representativo que o compõe. A partir deste entendimento, fica claro que a análise de um meio heterogêneo, como o meio urbano estará mais relacionado à resposta térmica das principais estruturas da paisagem (centro urbano, loteamentos, parques, área industrial, etc.) do que às variações térmicas de detalhes existentes, mas que o sensor não pode registrar em função do limite de resolução espacial, conforme observa Collischonn (1998, p. 113).

Em relação à intensidade da radiação térmica recebida pelo satélite, a mesma é o resultado de três componentes: a emissão própria do solo, a emissão da atmosfera e a fração de energia térmica refletida. Desta forma, o sensor térmico do satélite registra, em um instante, a propriedade da radiação eletromagnética emitida por diferentes objetos na superfície da terra, que por sua vez resulta da temperatura da superfície e de sua emissividade.

Assim, para se obter a temperatura de fato de uma determinada superfície, a partir da termografia infravermelha, é preciso estimar as

emissividades para cada objeto imageado. Neste aspecto, diverge a maioria das metodologias empregadas na conversão das imagens termais, pois quando se trabalha com áreas urbanas muito heterogêneas torna-se muito difícil estimar todas as emissividades dos alvos imageados, sendo que, na maioria das vezes rebaixe na generalização das áreas e interpretações não condizentes com a realidade da superfície em estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os primeiros estudos de clima urbano caracterizaram a ilha de calor na cidade, durante o período noturno. Mas, atualmente, há comprovação de que a manifestação deste fenômeno também ocorre no período diurno (manhã ou tarde). Todavia, o crescimento das cidades, incorporando sítios distintos, tornou o estudo da ilha de calor, muito distante da realidade, em razão da pequena rede de monitoramento de parâmetros climáticos, principalmente, em países tropicais ser escassa.

Apesar disso, novas possibilidades de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto alavancaram o interesse pela temática do clima urbano. Porém, a disseminação das novas tecnologias, não significou um avanço na reflexão crítica a respeito do tema. Tanto assim, que na literatura brasileira ainda não está claro qual tipo de ilha de calor se analisa. Fato este, que não se observa em trabalhos de países de latitudes médias, conforme Arnfield (2003, p. 4) demonstra em seu trabalho de revisão sobre o clima urbano.

Outra questão que merece ser desenvolvida se refere ao estabelecimento de critérios para definição do uso da terra, a fim de se criar uma forma de padronização dos

resultados dos estudos de ilha de calor, que na atual conjuntura são quase que incomparáveis.

Isto, por sua vez, dificulta o avanço dos estudos e na criação de argumentos científicos comuns que procurem responder as questões relacionadas à espacialidade do campo térmico. A proposta de Oke (2006) e Stewart (2007 e 2009) é positiva, pois busca criar um procedimento padrão entre profissionais de diferentes áreas do conhecimento, que trabalham com o clima. Entretanto, a sua proposta ainda é influenciada por cidades de latitudes médias, que não apresentam a mesma dinâmica socioeconômicas das cidades dos países tropicais. Sendo necessário ampliá-la até para se ter uma gama maior de “zonas de clima urbano”, a fim de englobar pelo menos grande parte dos tipos de uso da terra e densidades de construções característicos de países tropicais.

NOTAS

ⁱ Geógrafo; Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP); Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

E-mail: fialho@ufv.br

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, B. Temporal march of the Chicago heat island. *Journal climate and applied meteorology*, New York, v. 4, n. 6, 1985. pp.547-554.

ALCOROFADO, M. J. *O clima da região de Lisboa: Contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa: Centros de Estudos de Lisboa/Universidade de Lisboa, 1993.

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modeling attempts. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 84, n. 1-3, 2006. pp. 151-159.

ANDRADE, H. O clima urbano: Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra*, Lisboa, v. 50, n. 80, 2005. pp. 67-91.

ARNIFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, London, v. 23, n. 1, 2003. pp. 1-26.

BEJARÁN, R. A.; CAMILLONI, I. A. Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires (Argentina) urban heat island intensity. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 74, n. 1-2, 2003. pp. 93-103.

BOTTYÁN, Z.; KIRCSI, A.; SZEGEDI, S.; UNGER, J. The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *Internacional journal of climatology*, Viena, v. 25, n. 3, 2005. pp. 405-418.

BRANDÃO, A. M. P. M. *O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia Física. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.

BRANDÃO, A. M. P. M. A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro: configuração em situações sinóticas contrastantes. In: SANT'ANNA NETO, J. A.; ZAVATINI, J. A. (orgs.): *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2001. pp. 193-210.

CASSELES, V.; LOPEZ GARCIA M. J.; MELIÁ, J.; PEREZ CUEVA, A. J. Analysis of the heat-island effect of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite Data. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 43, n. 4, 1991. pp. 195-203.

COLLISCHONN, E. *O campo térmico da região metropolitana de Porto Alegre: Uma Análise a partir da Interação das variáveis ambientais na definição do clima local*. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia/CFCH/UFSC. Florianópolis:

Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

FIALHO, E. S. *Análise temporoespacial do campo térmico na Ilha do Governador-RJ em situações sazonais de verão e inverno*. Dissertação (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza-Instituto de Geociências. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

FIALHO, E. S.; AZEVEDO, T. R. Uma análise da produção climatológica, na ciência geográfica Brasileira entre 1992 e 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6, 2006, Mato Grosso. *Anais...* Rondonópolis: UFMT, 2006. CD-ROM.

FIALHO, E. S. A pesquisa climatológica realizada por geógrafos brasileiros. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 6, n. 6, 2010. pp. 193-212.

GEDZELMAN, S. D.; AUSTIN, S.; CERMARK, R.; STEFANO, N.; PARTRIDGE, S.; QUESENBERRY, S.; ROBINSON, D. A. Mesoscala aspects of the urban heat island around New York City. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 75, n. 1-2, 2003. pp. 93-103.

GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 84, n. 1-3, 2006. pp. 3-22.

KARL, R. R.; DIAZ, H. F.; KUKLA, G. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *Journal of climate*, New York, v. 1, n. 11, 1988. pp. 1099-1123.

HASENACK, H; FLORES, F. E. V. Relações entre temperatura do ar e obstrução do horizonte local em Porto Alegre, RS, sob tempo anticiclônico. *Pesquisas*, Porto Alegre, n. 21, n. 1, 1994. pp. 12-16.

HSU, S. I. Variation of an urban heat island in Phoenix. *Professional geographer*, New York, v. 36, n. 2, 1984. pp. 196-200.

JAUREGUI, E. Mexico city's urban heat island revisited. *Erdkunde*, Berlin, v. 47, 1993. pp. 185-195.

LANDSBERG, H. E.; MAISEL, T. N. Micrometeorological observations in an area of urban growth. *Boundary-layer meteorology*, London, v. 2, n. 3, 1972. pp. 365-370.

LEE, D. Urban warming? An analysis of recent trends in London's heat island. *Weather*, London, v. 47, n. 2, 1992. pp. 50-56.

LOMBARDO, M. *Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

MAGEE, N.; CURTIS, J.; WENDLER. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 64, n. 1-2, 1999. pp. 39-47.

MARTINS, L. A. *A temperatura do ar em Juiz de Fora-MG: Influências do sítio e da estrutura urbana*. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 1996.

MARSH, W. M. *Landscape planning: environmental applications*. 2ª ed. John Wiley & Sons. New York, 1991.

MÉNDEZ, C. C. M. Diferencias térmicas en la ciudad de Toluca, México. In: COLÓQUIO GEOGRÁFICO, AMÉRICA LATINA e SIMPÓSIO MEXICANO-POLACO, 1. *Anais...*, Facultad de Geografía, U.A.E.M. Toluca, 1993. pp. 139-148.

MÉNDEZ, C. C. M.; URIBE, D. M.; BECERRIL, L. A. G. Isla de calor em Toluca, México. *Ciência ergo sum*. Toluca, v. 14, n. 3, 2008. pp. 307-316.

MENDONÇA, F. de A. *O Clima e o planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno: Proposições metodológicas para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR*. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia FFLCH/USP. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. o clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológicos e estudos de caso. In: SANT'ANNA NETO, J. A.; ZAVATINI, J. A. (orgs.): *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*.

Maringá: UEM, 2001. pp. 167-192.

MONTEIRO, C. A. F. *El estudio de los climas urbanos en las regiones tropicales de America del sur: La contribución brasileña*. In: PROCEEDINGS TECH. CONFERENCE URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS. Mexico City, Mexico, 1984. 22p.

MORENO GARCIA, M. C. *Climatologia urbana*. Barcelona: Edicions universitat de Barcelona, 1999.

OLIPHANT A. J.; SPRONKEN-SMITH, R. A.; STURMAN, A. P.; OWENS, I. F. Spatial variability of surface radiation fluxes in mountainous Terrain. *Journal of applied meteorology*, New York, v. 42, n. 1, 2003. pp. 113-128.

OKE, T. R. City size and urban heat island. *Atmospheric environment*, New York, v. 7, n. 8, 1973. pp. 769-779.

OKE, T. R. *Boundary layer climates*. London: Methuen, 1978.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, New York, v. 1, n. 3, 1981. pp. 237-254.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, London, v. 108, n. 455, 1982. pp. 1-24.

OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, New York, v. 86, n. 3, 2003. pp. 371-384.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and applied climatology*, Viena, v. 84, n. 1-3, 2006. pp. 179-190.

POPULATION REFERENCE BUREAU. *Population Bulletin. World population highlights*. v. 62, n. 3, 2007. Disponível em <http://www.prb.org>. Acessado em 28 out.

2008.

RAO, P. K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the american meteorological society*, Boston, v. 53, n. 8, 1972. pp. 647-648.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, Tokyo, v. 20, n. 1, 2008. pp. 120-128.

RUNNALS, K.; OKE, T. R. Dynamics and controls of the near-surface heat island of Vancouver, British Columbia. *Physical geography*. New York, v. 21, n. 4, 2000. pp. 283-304.

SCHMIDLIN, T. W. The urban heat island at Toledo. *The Ohio journal of science*, Ohio, v. 89, n. 3, 1989. pp. 38-41.

STEFFES, A. C. de.; PICCOLO, M. C.; GONZÁLEZ, J. H.; NAVARRETE, G. La isla de calor estival em Temuco, Chile. *Papeles de geografia*, Murcia, n. 33, 2001. pp. 49-60.

STEWART, I. D. Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950-2006. *Acta Climatologica et chorologica*. Szeged, v. 40-41, 2007. pp. 111-121.

STEWART, I. D. Classifying urban climate field sites by "Local Climate Zones". Disponível em: <http://www.urban-climate.org/IAUC034.pdf>. Acesso em 29 abr. 2012.

SÜMEGHY, Z.; UNGER, J. Seasonal case studies on the urban temperature crosssection. *Acta climatologica et chorologica*, Szeged, v. 36-37, 2003. pp. 101-109.

SUNDBORG, A. Local climatological studies of the temperature conditions in an urban areas. *Tellus*, Stockolm, v. 2, n. 3, 1950. pp. 222-232.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). *Geografia*, Rio Claro-SP, v. 2, n. 4, 1977. pp. 59-80.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Compete urban surface temperatures. *Journal of applied meteorology*, New York, v. 36, n. 9, 1997. pp. 1117-1132.

island and local temperature variations in Orlando, Florida. *Southeastern geographer*, London, v. 46, n. 2, 2006. pp. 297-321.

YOW, D. M.; CARBONE, G. J. the urban heat
