IDENTIFICAÇÃO DO FENÔMENO ILHAS DE CALOR NA ÁREA URBANA DO RECIFE-PE, ATRAVÉS DO CANAL INFRAVERMELHO TERMAL DO SATÉLITE LANDSAT 5

Elvis Bergue Mariz Moreira[1]
Ranyere Silva Nóbrega[1]

[1]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Acadêmica Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP: 50670-90 CP -7803 Recife- PE
elvisberg@hotmail.com; rs_nobrega@yahoo.com.br

Abstract. This study aimed at investigating the phenomenon of heat islands from the changes in temperature in the city of Recife. We used two images from Landsat TM-5, 10 June 1984 and August 29, 2007 and the Surface Energy Balance procedures Algorithm for Land-SEBAL, which is based on the radiance measured in the reflective channels (1,2,3, 4.5 and 6) of Landsat 5. The temperature values found for the years under review were: 14.94 ° C the minimum, 25.7 ° C the maximum value, the average of 22.2 º C and the mode of 22.48 º C, for the year 2007, we found 18.7 ° C value least 33 ° C the maximum value, the average of 27 º C and the standard was 28.29 ° C. Rising temperatures occurred in recent years has contributed directly to the formation of heat island phenomenon in urban areas of Recife.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, temperatura da superfície, urbanização, anomalia térmica, remote sensing, surface temperature, anomaly thermal

1. Introdução

O elevado crescimento urbano apresentado nas cidades brasileiras nos últimos anos vem trazendo conseqüências negativas para o meio ambiente, fato que pode ser observado pela grande concentração de pessoas nos grandes centros urbanos que aliados a retirada da vegetação para construções, altera significativamente o comportamento das temperaturas.

As características do uso do solo da Região Metropolitana do Recife apresentam um elevado percentual de áreas cobertas por asfalto e concreto, as quais são superfícies capazes de converter e armazenar a radiação solar incidente em maior grau do que as áreas vegetadas. O conjunto dos fatores acima é capaz de determinar o aparecimento de um gradiente horizontal de temperatura conhecido como o fenômeno da ilha de calor urbana. (Stull, 1993).

O fenômeno da ilha de calor pode ser definido como uma anomalia térmica onde a temperatura da superfície do ar urbano é mais elevada do que as áreas circunvizinhas. A ilha de calor pode acontecer em diferentes escalas, tanto em localizações dentro da própria cidade (escala local) quanto na diferença da temperatura entre a área urbana e rural (escala regional) (Weng et al, 2004).

Recentemente estudos relacionados ao clima urbano e de ilhas de calor vem recebendo muito destaque entre os pesquisadores que trabalham na área de sensoriamento remoto. Esta ciência permite, além das visões em diferentes escalas, realizar estimativa através dos dados do canal infravermelho termal de temperatura aparente da superfície (land surface temperature – LST), tendo como resultado final a temperatura da cidade, ou seja o desenho da temperatura local.

A ilha de calor pode de maneira geral ser controlada por diversos elementos, destacando-se a localização da cidade (corpos hídricos, natureza do solo, vegetação, uso do solo, arquitetura, os materiais de construção e fontes antropogênicas), localização geográfica, topografia, climatologia urbana, sazonalidade e condições sinóticas de tempo (Oke, 1982).

Em estudos de grandes centros urbanos diversos autores têm destacado a importância do monitoramento das ilhas de calor (Lombardo, 1985; Oke et al., 1991; Goldreich, 1995; Perez et al., 2001; Arfineld, 2003; Pongracz et al., 2005).

Moreira (2007) analisou a distribuição espacial das temeperaturas à superfície na área urbana do Recife através do satélite Landsat 7 em de maio de 2002. Encontrou temperaturas superiores a 33ºC nas áreas com elevado adensamento construtivos, evidenciando as ilhas de calor.

Visando contribuir com informações concernente ao clima urbano do Recife, esse estudo si propõe através de técnicas de sensoriamento remoto utilizar-se de imagens do satélite Landsat 5 para estimativa das temperaturas da superfície terrestre que possibilitará análise das ilhas de calor.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O objeto do estudo é a cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, localizada no litoral do Nordeste brasileiro Figura 1, mais precisamente no centro leste da região, compreendendo uma área de 218km2.

A região estudada, por estar situada em Zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25ºC, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes com temperaturas superiores a 26ºC. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24ºC.

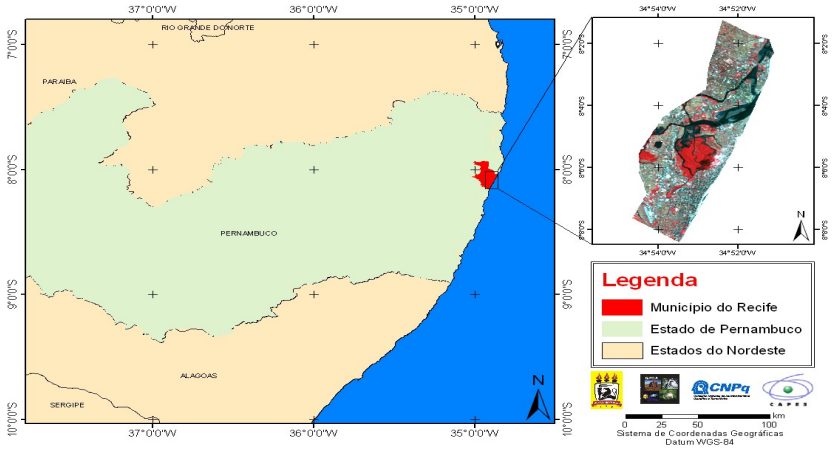


Figura 1. Localização da área de estudo, destacando o município do Recife.

A cidade do Recife mantém acelerado o crescimento da sua população tendo, na segunda metade do século XX, ultrapassado a casa a do um milhão de habitantes. Conforme o IBGE em 1970 a população era 1.060.700 mil e no ano de 2007 a população foi de 1.533.580 2007. Diante disto, assegura-se que a mancha urbana apresenta-se, com um solo bastante influenciado por pressões econômicas, apresentando-se com elevado grau de adensamento construtivo.

No pré-processamento das imagens de satélite, aplicação do índice escolhido e montagem final dos *layout* foi utilizado o software Erdas Imagine 9.3 e ArcGIS 9.3 (licença do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE). Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, referente às datas 10/06/1984 e 29/08/2007, órbita 214 e ponto 66.

2.2 Etapa 1 (Calibração radiométrica)

Nesta etapa é usada intensivamente a ferramenta do *Model Maker* que será descrito a seguir as diversas etapas para a obtenção dos índices de vegetação. A primeira etapa chamada de Radiância, ou seja, é a conversão do numero digital, ND, de cada pixel da imagem em Radiância espectral monocromática de acordo com a Equação 1 apresentado por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \qquad (01)$$

Onde a e b são as Radiância mínimas e máximas (W m^{-2} sr^{-1} m^{-1}),detectada pelo sensor TM do *Landsat,* ND é os números digitais da imagem que corresponde a um intervalo de 0 á 255 e i corresponde as bandas do satélite em estudo.

2.4 Etapa 2 (Reflectância espectral)

A etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com a Equação 2 (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} . \cos Z . d_r} \qquad (02)$$

Onde L_{li} é a Radiância espectral de cada banda, k_{i} é a irradiancia espectral solar de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

2.5 Etapa 3 (Albedo no topo da atmosfera)

Representa o cômputo do albedo planetário (á toa), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat 5 e ETM 7, conforme Equação 3.

$$\alpha_{toa} = 0{,}293\rho_1 + 0{,}274\rho_2 + 0{,}233\rho_3 + 0{,}157\rho_4 + 0{,}033\rho_5 + 0{,}011\rho_7 \qquad (3)$$

Onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4,5 e 7

2.6 Etapa 4 (Albedo da superfície)

Na etapa 4 obtém-se o albedo corrigido ou albedo de superfície para os efeitos atmosféricos a, através da Equação 4:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^{\ 2}} \qquad (4)$$

Em que α_{toa} é o albedo planetário, α_p, é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0, 025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) é recomendado o uso do valor de 0,03, T_{sw} é a transmissividade atmosférica que passa as condições de céu claro e obtido pela Equação 5 (Allen et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0{,}75 + 2.10^{-5} z \qquad (5)$$

Em que, z é representado pela média da altitude da cidade do Recife, já que é pouco variável. Foi utilizada a média de 10 metros de altitude para a área analisada.

2.7 Etapa 5 (Índices de vegetação: SAVI e IAF)

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do "background" do solo, é utilizado a Equação 6. (Huete, 1988.)

$$\mathrm{SAVI} = \frac{(1+\mathrm{L})(\rho_{\mathrm{IV}} - \rho_{\mathrm{V}})}{(\mathrm{L} + \rho_{\mathrm{IV}} + \rho_{\mathrm{V}})} \tag{6}$$

Onde, *L* é uma constante de valor igual a 0,5 (Silva et al., 2005). Para o cálculo do índice de área Foliar – IAF é necessário o modelo do SAVI corrigido (SAVI_ SZ), onde se eliminam os valores negativos.

O Índice de área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é computado pela seguinte Equação 7 empírica obtida por Allen et al. (2002):

$$\mathrm{IAF} = -\frac{\ln\left(\frac{0{,}69 - \mathrm{SAVI}}{0{,}59}\right)}{0{,}91} \tag{7}$$

Para o cálculo da emissividade é necessário utilizar o modelo do IAF corrigido, onde se eliminam valores negativos ou iguais a zero.

2.8 Etapa 6 (Emissividade)

Para a obtenção da temperatura à superfície, será utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética com um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal imageada pelo canal termal (ε_{NB}). Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida pôr cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ε_0 (5-100μm). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para NDVI>0 e IAF <3, como pode ser observado na Equação 8.

$$\varepsilon_0 = 0{,}95 + 0{,}01\,\mathrm{IAF} \qquad \varepsilon_{\mathrm{NB}} = 0{,}97 + 0{,}00331\,\mathrm{IAF}$$

$$\text{Para pixels com } \varepsilon_{\mathrm{NB}} = \varepsilon_0 = 0{,}98 \tag{8}$$

2.9 Etapa 7 (Temperatura da superfície)

Para a obtenção da temperatura à superfície (Ts) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior, como apresentado pela Equação 9:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{\mathrm{NB}} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \tag{9}$$

Onde $K_1 = 607{,}76 \ Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ e $K_2 = 1260{,}56$ K são constantes de calibração da banda termal do Landsat - 7 (Allen et al., 2002.; Silva., 2005).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 02 são apontados os valores estatísticos: mínimo, máximo, média e a moda da temperatura da superfície para os dias 10 de julho de1984 e 29 de agosto de 2007, onde se percebe visualmente que as temperaturas mais elevadas ocorreram justamente no ano de 2007, tendo seu valor mínimo de 18,7ºC, máximo de 33ºC, média de 27ºC e a moda foram de 22,48ºC e 28,29ºC respectivamente.

Tabela 2. Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

Temperatura da Superfície	*Mínimo(ºC)*	*Máximo(ºC)*	*Média(ºC)*	*Moda*
1984	14,94	25,7	22,2	22,48
2007	18,7	33	27	28,29

As Figuras 2 e 3 representam os histogramas de freqüência da temperatura da superfície cuja média é destacada pela linha vertical vermelha indicada em cada figura. Nota-se que em 1984 a temperatura apresentou-se mais concentrada entre 19ºC e 24ºC e em 2007 ocorre uma maior variação ficando entre 22ºC e 32ºC, aproximadamente.

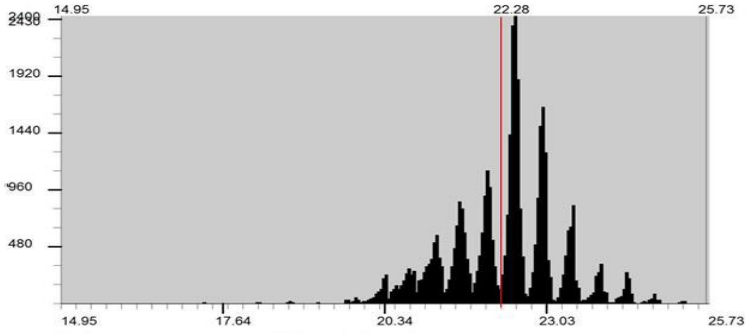


Figura 2: Histograma de freqüência da temperatura à superfície em 10 de junho de 1984.

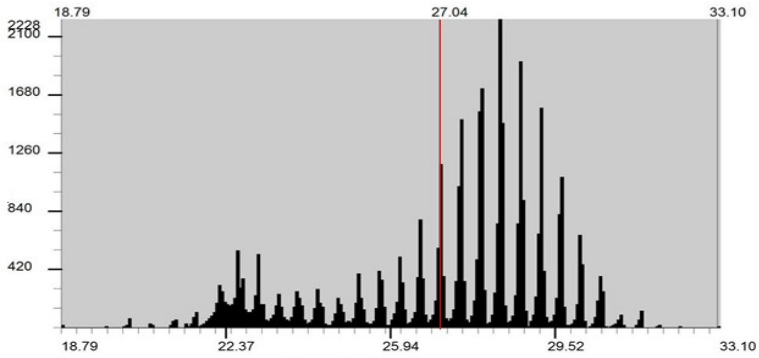


Figura 3: Histograma de freqüência da temperatura à superfície em 29 de agosto de 2007.

A Figura 4 representa as imagens da temperatura da superfície (Ts) para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Analisando as imagens, percebe-se que, o tom azul claro apresenta a menor temperatura < 19ºC, o tom ciano apresenta valores de temperatura entre 19ºC e 21ºC, o verde apresenta os valores intermediários entre 21ºC e 22ºC, o amarelo entre 22ºC e 23ºC e o tom vermelho apresenta as áreas com os maiores valores de temperaturas >23ºC.

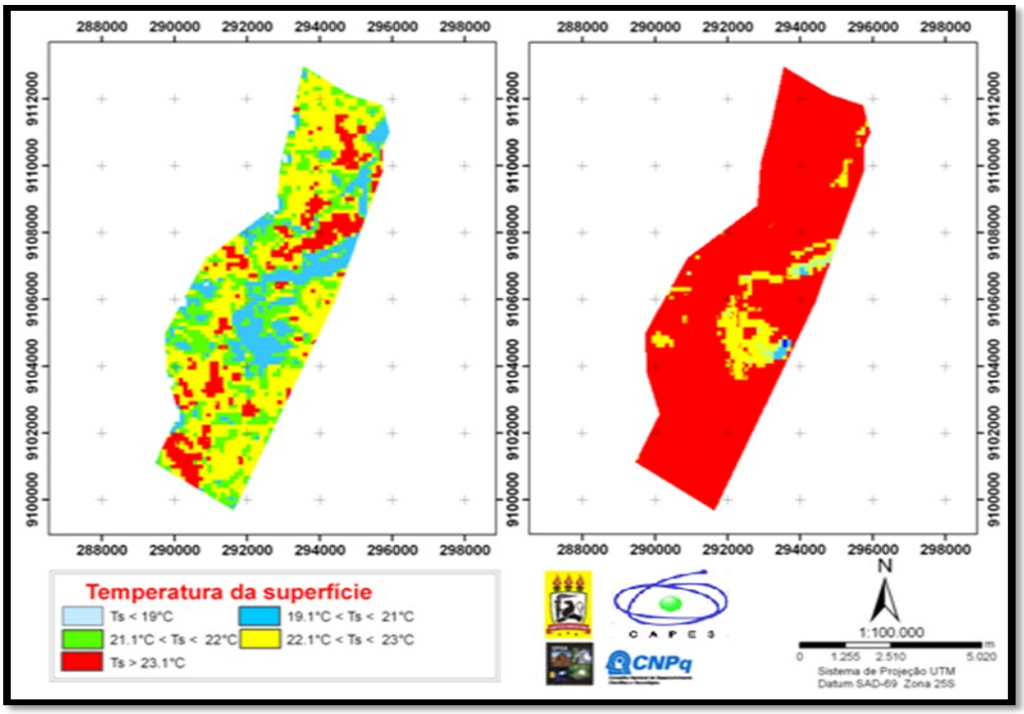
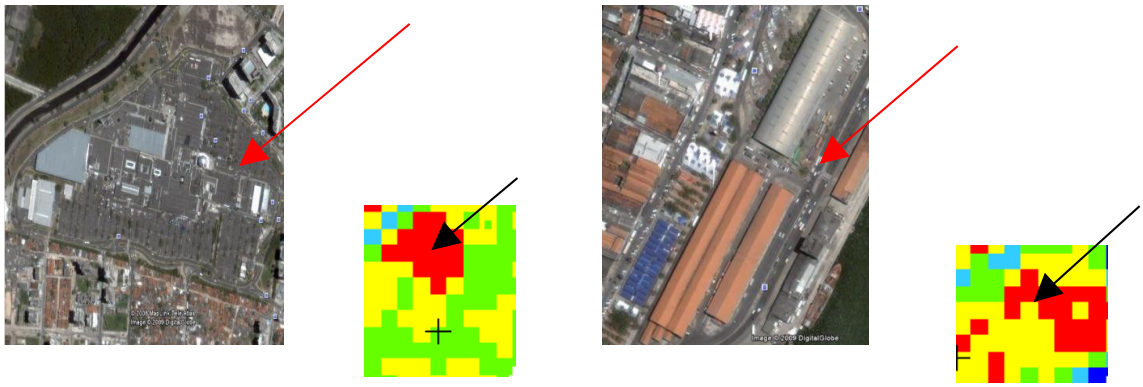


Figura 4. Imagem termal das temperaturas à superfície em 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007 respectivamente.



a **b** **a** **b**

Figura 5(a,b). Em (a) Morfologia urbana da ilha de calor no estacionamento do shopping center Recife (8º 07´12´´S e 34º 54´ 16´´O) e o bairro de São José (8º 04`10``S e 34º 52`33``O), em (b) imagem termal com destaque para ilha de calor.

Na análise comparativa da Figura 4 referente à imagem termal das temperaturas para os anos em apreço, verifica-se que na imagem de 2007 houve um predomínio em quase toda área

da cor vermelha representada pelas temperaturas >23ºC. Pressupõe-se que esse aumento está associado há pelo menos dois fatores: expansão das edificações/diminuição de áreas verdes e sazonalidade da radiação solar.

As áreas que se destacaram com as maiores temperaturas Figuras 5(a,b), podendo ser consideradas como ilhas de calor, foram as que apresentaram estruturas com telhas de cimento, amianto e asfalto. Lombardo (1985), Lima (2005), Paiva (2005) destacam que esses materiais são responsáveis pela formação da maioria das ilhas de calor das cidades. Esses tipos de materiais possuem alta reflectância o que aumenta significativamente a irradiação de calor para a atmosfera (Teza e Baptista, 2005). Portanto esta alta irradiação emitida para atmosfera interfere de forma direta no balanço de energia local causando um reflexo imediato na temperatura (Serrato et al.,2002).

5. Conclusões

A técnica do sensoriamento remoto através do canal infravermelho termal do satélite Landsat 5 apresentou-se como uma importante ferramenta para estimativa das temperaturas da superfície e conseqüentemente possibilitando a análise da distribuição espacial das ilhas de calor

Mediante os resultados apresentados, constatou-se um aumento de aproximadamente 3ºC nas temperaturas mínimas, 8ºC nas máximas e 5ºC na média. Pressupõe-se que esse aumento de temperatura pode ser atribuído ao elevado adensamento construtivo e redução da cobertura vegetal que a cidade vem sofrendo nos últimos anos.

As mudanças nas temperaturas ocorridas no período de 23 anos na cidade do Recife tem contribuído de forma direta para a intensificação do fenômeno da ilha de calor na área urbana, em especial nas áreas onde os ambientes construídos são mais intensos e a cobertura vegetal é menos presente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro.

Referências

Allen, R.G., Tasumi, M & Terezza. R. **Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User Manual – Idaho Implementation,** version 1.0, 2002.

Arnfied, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water urban heat island. **International Journal of Climatology,** v.23, p.1-26, 2003.

Bastiaanssen. W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes e A.A.M. Hotlslag,: A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, vol. 212-213, 198-212, 1998.

Goldreich, Y. Urban climate studies in Israel – a Review. **Atmospheric Environment,** v.29. n.4, p.467- 478, 1995.

Huete, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment,** v. 25, p. 295-309, 1988.

Lima, L.P. de. Clima e forma urbana: métodos de avaliação do efeito das condições climáticas locais nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações. 2005.154p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005.

LOMBARDO, M.A. **Ilha de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo**: Hucite, 1985. 244p

Markham & Backer. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n.3, p. 517-523, 1987.

Moreira, E.B.M. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat – 7**. Revista de Geografia UFPE/DCE**, v.24, n 3, p. 122-135, 2007.

Oke, T.R.; Johnson, G.T.; Steyn, D.G.; Watson, I.D. Simulation of surface urban heat islands under "Ideal" Conditions at night Part 2: **Diagnosis of causation. Boundary-Layer Meteorological**, v.56, p.339-358, 1991.

OKE, T. R. **The Energetic basis of the Urban Heat Island**. Q. J. R. Meteorol. Soc. 108: 1-23, 1982.

Paiva, C.M. **Estimativa do balanço da energia e da temperatura da superficie via satélite NOAA-AVHRR.** 218p. Tese (Doutorado em Ciêncis da Engenharia Civil) – COPPE 2005.

Pongracz, R.; Bartholy, J.; Dezso Z. Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. Advances in Space Research, June 2005. Disponível em <www.elselvier.com/locate/asr

Silva, B. B. da, Lopes, G. M. & Azevedo, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

Stull, R. B.. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 666 p. 1993.

Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, Feb. 2004.
.