

## Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL

Antonio José Pereira de Almeida<sup>1</sup>  
Sinval Autran Mendes Guimarães Junior<sup>1</sup>  
Esdras de Lima Andrade<sup>1</sup>  
José Vicente Ferreira Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas – UFAL/ PPGG/IGDEMA/LGA  
BR-104, km 14, Campus A. C. Simões, CEP 57072-970, Maceió - AL, Brasil  
tony.n12@gmail.com; sinval.autran@igdema.ufal.br; esdras.andrade@yahoo.com.br;  
jvferreiraneto@igdema.ufal.br

**Abstract.** Urban environmental problems have worsened in recent decades due to the growth of cities. In this way, between the various problems related to this issue we highlight the urban climate, generated from changes made in the coverage of urban surface, as a result of land cover transformations, causing heat islands. In this perspective, the present study aims to estimate the relationship between the Land Surface Temperature (LST) and the Vegetation Index (IV), through the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), in order to evaluate the relationship between surface temperature and the soil cover, and later, identify the heat islands in Maceió city, capital of Alagoas state (Brazil). To conduct the study was obtained images from orbit 214 and point 67 of the satellite Landsat- 5 TM on the date 11/03/2011. From the images processing were generated thematic maps of LST and NDVI. In General, the values of TS followed a trend, increasing from the periphery to the central area of the city. In the results was evidenced that the heat islands are concentrated in places with minor IV and higher density of human occupation. In areas where human occupation prevails at the expense of vegetation, the temperatures are higher, ranging between 35°C and 38°C. In places with higher concentrations of vegetated areas, mild temperatures prevail, with values between 20°C and 29°C.

**Palavras-chave:** urban climate, remote sensing, image processing, Landsat-5 TM, clima urbano, sensoriamento remoto, processamento de imagens, Landsat-5 TM

### 1. Introdução

A intensa expansão demográfica ocorrida nos últimos 200 anos, devido ao crescimento das atividades econômicas e ao desenvolvimento das tecnologias, propiciou um forte processo de crescimento urbano que tem desencadeado uma gama de problemas ambientais. Dentre esses problemas ambientais, ressalta-se a alteração do clima local, clima urbano, como reflexo do impacto da ocupação (NASCIMENTO, 2011).

Estudos de Monteiro (1976) mostram que a cidade gera um clima próprio, resultante da interferência de todos os fatores que processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Dentre as seguintes alterações, o autor alega que são as manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais, os efeitos mais percebidos pela população.

Apesar das diferenças de climas regionais, cidades do mundo desenvolveram características comuns, ilha de calor urbana, ou seja, as áreas urbanas que contém temperaturas do ar e da superfície maior do que nos ambientes circunvizinhos e rurais (ARNFIELD, 2003). A ilha de calor representa o fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e mesoclimáticas locais de cada cidade (BRANDÃO, 2009).

A ilha de calor ocorre como resultado das transformações da cobertura do solo, principalmente pela substituição da vegetação natural e terras agrícolas por superfícies impermeáveis (concreto, asfalto e telhados) associados com usos do solo urbano, no qual alteram fluxo de energia da superfície, reduzindo a evapotranspiração e aumentando a absorção da energia solar na superfície (BUYANTUYEV e WU, 2009). Por outro lado, a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) é de primordial importância para o ambiente

urbano, pois o seu papel é essencial no balanço energético da superfície, pois ajuda a determinar o clima interno, como também, influencia as trocas de energia que afetam o conforto dos moradores da cidade (WANG et al., 2004).

A TST urbana pode fornecer importantes informações sobre as propriedades físicas do clima local, que desempenha um importante papel em muitos processos ambientais, incluindo vegetação e escoamentos. O sensoriamento remoto se torna extremamente útil para a compreensão destes processos, a partir da análise espaço-temporal na mudança do uso e cobertura do solo em relação à temperatura e emissividade na superfície.

Vários estudos têm estimado o calor relativo das cidades medindo a temperatura do ar usando estações meteorológicas, tendo como vantagem a alta resolução temporal, porém as estações apresentam baixa resolução espacial. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem se destacando, pois, além de possuir alta resolução espacial e oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica (DELGADO et al, 2012).

Desde os anos 1970, dados provenientes de satélites, como a série do programa Landsat, têm sido usados para obter a temperatura da superfície terrestre e gerar índices de vegetação, tais como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). O NDVI não só mapeia a presença de vegetação numa base de pixel, mas também proporciona uma medida da quantidade de vegetação ou condição dentro de um pixel, que promove a compreensão dos impactos de mudanças de cobertura em relação a temperatura na superfície terrestre (ORHAN, 2014).

Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo estimar a relação entre a Temperatura de Superfície (TST) e o Índice de Vegetação (IV) e posteriormente identificar as ilhas de calor na cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas (Brasil) através da banda 6 do satélite Landsat-5 TM.

## **2. Materiais e Método**

Foi utilizado o método dedutivo, estimando a TST a partir de equação proposta pela NASA e, numa segunda etapa, fez-se a análise desses dados comparando com os valores de IV para a cidade de Maceió.

### **2.1 Área de estudo**

Localizada na parte central do litoral do estado de Alagoas, a cidade de Maceió se estende entre os paralelos 09° 33' 30" e 09° 40' 30" de latitude Sul e os meridianos 035° 37' 00" e 035° 48' 00" de longitude Oeste de Greenwich, ocupando uma área de 503,072 km<sup>2</sup>, correspondendo a 1,76% do território alagoano. Segundo o último censo, possui uma população de 932.748 habitantes (IBGE, 2010).

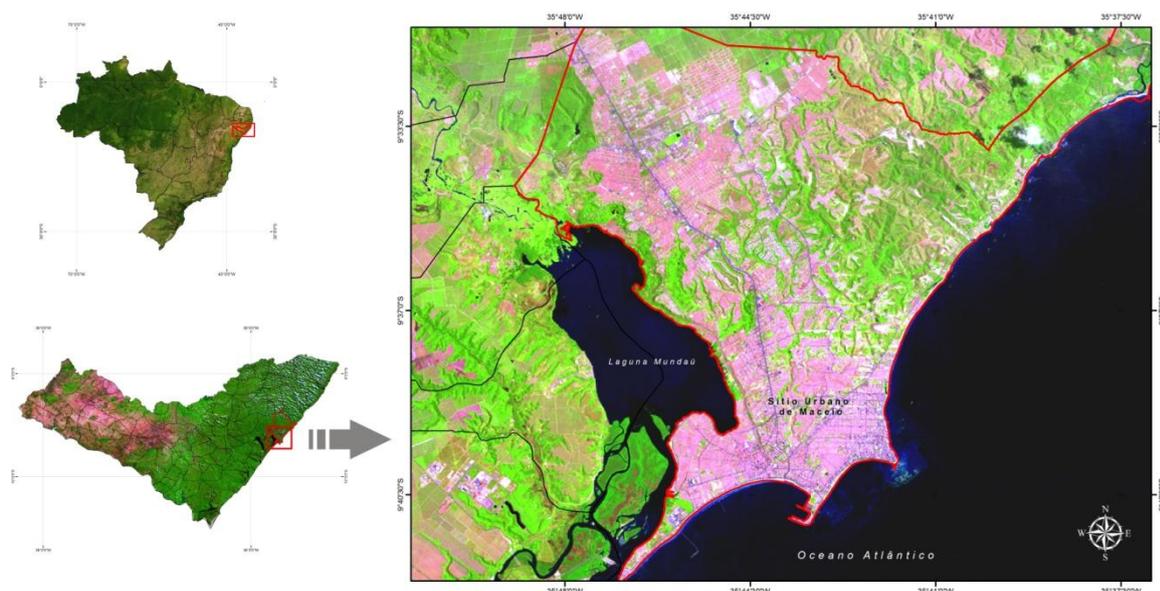


Figura 1 – Localização da área de estudo, cidade de Maceió, estado de Alagoas (Brasil).

## 2.2 Imagem Utilizada

Para a extração das informações espaciais sobre a TST e geração do IV do solo na cidade de Maceió, foram adquiridos dados de imagem orbital digital do satélite Landsat-5 TM (Thematic Mapper), órbita 214, ponto 67, com data de passagem de 11 de março de 2011 e horário central 12 h 27 min. As bandas utilizadas foram 2, 3, 4 e 6 correspondentes as frequências do azul (B), verde (G), vermelho (R) e ao infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$  - micrômetro). As imagens foram adquiridas junto no banco de dados do GLOVIS (USGS Global Visualization Viewer - <http://glovis.usgs.gov/>).

## 2.3 Processamento de dados

O procedimento de processamento de imagem para execução dos dados referentes ao IV por NDVI e a TS foram realizadas utilizando o software *Environment for Visualizing Images* (ENVI versão 4.7).

### 2.3.1 Estimativa da temperatura da superfície

Primeiro passo para extrair os dados referente à Temperatura da Superfície Terrestre (TST) a partir da banda 6 da imagem Landsat-5 TM é converter os números digitais (DN), valor do pixel, para valores TST, por meio de uma equação, a fim de tornar os dados comparáveis. Esta equação relativamente simples para a detecção de temperatura, foi introduzida pela NASA (Qin e Karnieli, 2001) e tem sido utilizada em muitos trabalhos para o mapeamento de ilhas de calor urbanas.

Equação (1) é usada para realizar a conversão dos números digitais (DN) para radiação de energia espectral ( $L_\lambda$ ):

$$L_\lambda = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) * \frac{DN}{255} \quad (1)$$

Onde:  $L_\lambda$ = radiação de energia espectral;  $L_{\min} = 1.238$  (radiância espectral valor do DN 1);  $L_{\max} = 15.600$  (radiância espectral valor do DN 255); e DN = Número Digital.

Uma vez que o valor do espectro de radiação é conhecido, o passo seguinte é utilizar o valor da  $L_\lambda$  para calcular a TST. Nesta etapa, foi utilizado a equação (2) para a conversão de radiação para o valor TST:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_\lambda) + 1} \quad (2)$$

Onde:  $K_1$  = Constante de calibração (607,76);  $K_2$  = constante de calibração (1260,56);  $T_b$  = temperatura da superfície; e  $T_b = T_b - 273$  (Conversão de Kelvin para Celsius).

### 2.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI conforme proposição de Rouse et al. (1973) normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, onde as áreas de vegetação mais intensa aproximam-se dos patamares superiores. O NDVI é calculado como a relação entre a refletividade medida nas porções vermelho e infravermelho do espectro eletromagnético, bandas 3 e 4 do Landsat-5 TM. Estas duas bandas espectrais são escolhidos porque são as mais afetadas pela absorção de clorofila na vegetação de folhas verdes e pela densidade da vegetação verde na superfície. A transformação NDVI é calculada como a razão entre as intensidades medidas no vermelho (R) e no infravermelho próximo (NIR) das bandas espectrais, com a seguinte equação (3):

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (3)$$

Onde: NIR = Infravermelho próximo (0,75 – 0,90  $\mu$ m); e R = Vermelho (0,63 – 0,70  $\mu$ m).

## 3. Resultados e Discussão

Localizada na latitude de 09°39', a cidade Maceió tem na posição geográfica um dos fatores de maior significado na sua definição climática. Nesta latitude a trajetória do Sol resulta em intensa insolação durante todo o ano, o que interfere na temperatura radiante da superfície. Neste contexto, a análise empreendida neste trabalho considerou as condições meteorológicas do dia de imageamento do satélite Landsat/TM 5, no qual as condições atmosféricas eram caracterizadas pelo predomínio de uma massa de ar estável com temperaturas elevadas (INMET).

A análise do mapa TST para a cidade de Maceió (Figura 2) possibilita observar que a área estudada apresenta uma considerável variação espacial da mesma. Em termos gerais, apresentando valores superiores a 27°C, resultante da substituição de superfícies naturais, como vegetação, por materiais, como asfalto e concreto, que reduzem a cobertura vegetal e alteram radicalmente as propriedades de impermeabilidade, radiativas e térmicas da área urbana.

Por outro lado, as áreas que apresentam valores inferiores a 27°C correspondem a áreas com maior volume de vegetação, que ajuda a diminuir a temperatura da superfície do solo e do ar através do efeito direto de sombreamento e da evapotranspiração.

Para uma análise mais detalhada da TST foi projetado o perfil em transecto, sendo possível perceber que o perfil traçado apresentou temperaturas da superfície variando entre 27 a 37°C. Os locais que apresentaram menor temperatura correspondem a áreas com presença de vegetação, como pode ser visto na distancia de 8.000 metros do transecto que corresponde a área do Parque Municipal de Maceió.

De modo geral, os valores da TST seguiram uma tendência, aumentando a partir da periferia para as áreas urbanas internas. Os valores variaram de TST 17,5 a 39,0 °C, com uma

média de 28,9 °C, permitindo a constatação de que as ilhas de calor mais intensas, referentes ao grupo de temperatura mais quente, estão localizadas nos bairros denominados Vergel do Lago, Ponta Grossa, Levada e Trapiche da Barra. Estas regiões compreendem justamente aos locais onde há grande concentração de residências por área física, separadas por ruas estreitas, com praticamente nenhuma cobertura vegetal e áreas verdes.

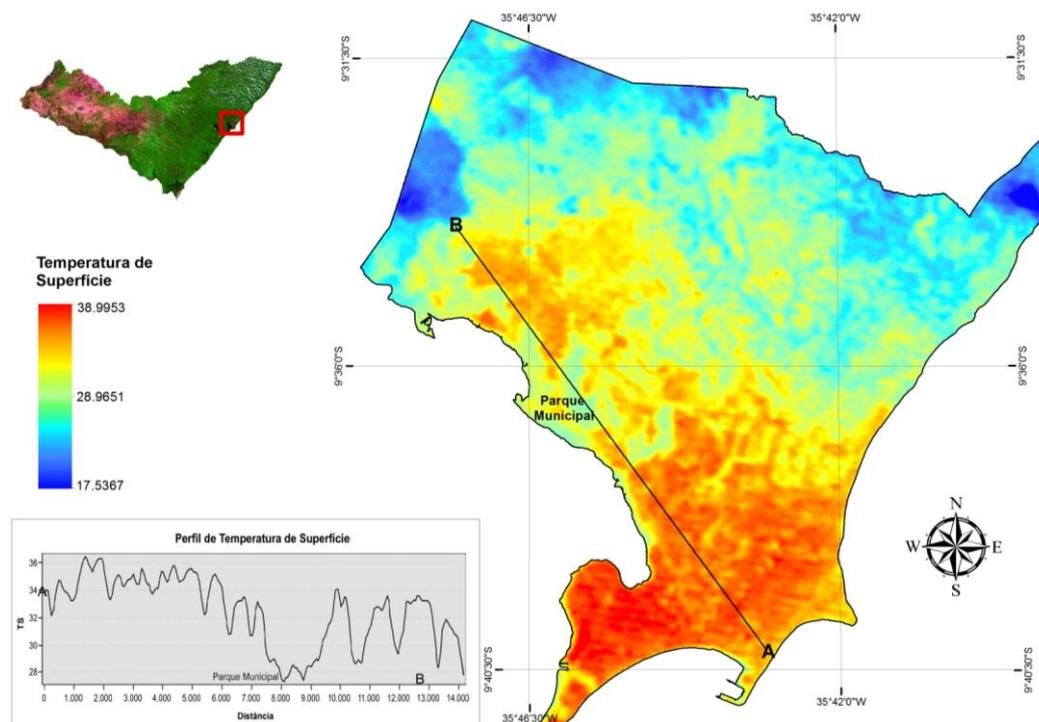


Figura 2 – Espacialização da Temperatura de superfície na área urbana da cidade de Maceió.

Com base nos levantamentos, foram observados que os altos valores de NDVI indicaram a presença de vegetação abundante, enquanto que baixos valores de NDVI indicaram presença de áreas urbanas densamente ocupadas ou de regiões de solo exposto.

Segundo Liu & Ming (2000), valores de NDVI maiores que 0,6 estão associados à vegetação extremamente pronunciada, e de 0,3 a 0,6 a cobertura vegetal pouco densa e área disposta de forma adjunta às regiões verdes.

Tais alterações podem ser verificadas na Figura 3, através da variabilidade espacial do NDVI, sendo possível observar que o IV apresentou grandes alterações, em virtude da intensidade do uso do solo, com valores variando de -0,388 a 0,735, com uma média de 0,275.

Foi possível observar que as regiões até 0,289 NDVI são extremamente pobres em vegetação com a existência da arborização escassa ou até mesmo ausente em determinados locais. Já na região de NDVI superior, podemos observar que a vegetação começa a aparecer, embora seja baixa, com uma maior arborização do que a apresentada na anterior.

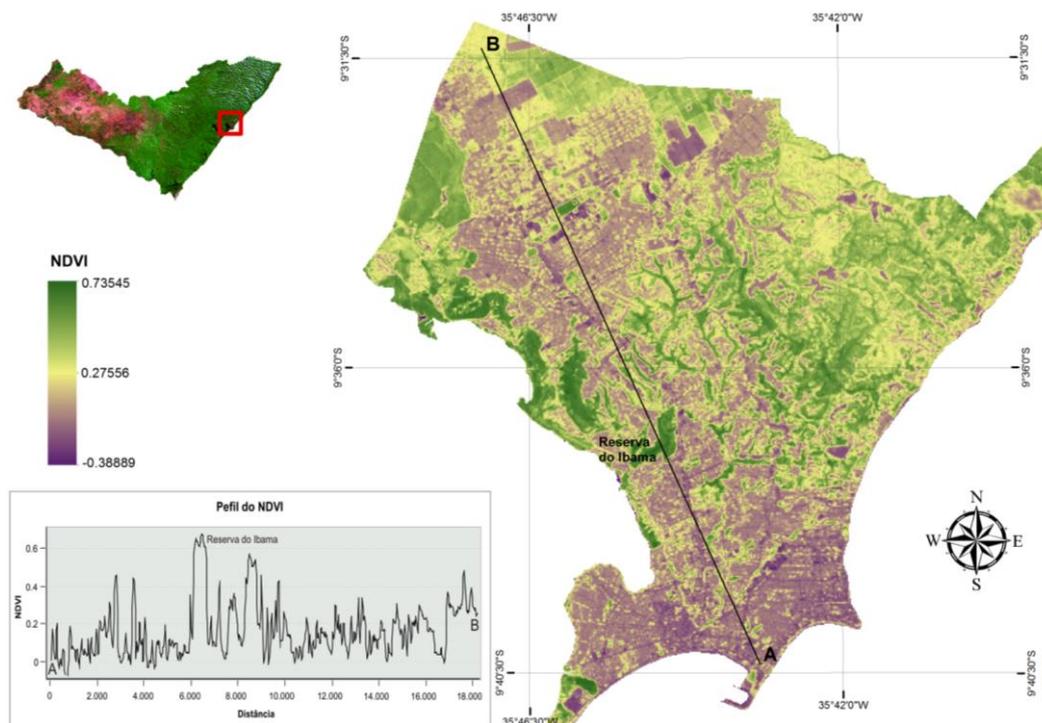


Figura 3 – Espacialização do Índice de vegetação, NDVI, na área urbana da cidade de Maceió.

Após gerar os dados de índices de TST e NDVI, 700 pontos de controle, correspondentes aos nós de uma malha quadriculada sobreposta ao mapa, foram gerados a fim de realizar uma análise de correlação, de modo a verificar a relação entre duas variáveis. A relação entre a TST e o NDVI verificou a existência de uma fraca correlação entre as variáveis, no valor de 0,28, não atendendo aos resultados de alta correlação esperados. A figura 4 mostra o coeficiente de correlação de Pearson entre as duas variáveis.

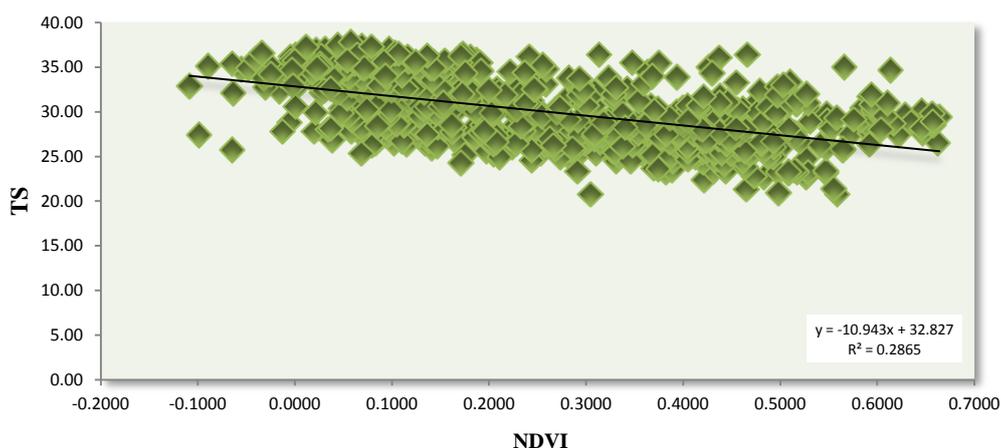


Figura 4 – Gráfico de dispersão entre TST vs. NDVI.

A fraca correlação encontrada entre temperatura superfície e o NDVI se deve ao fato de quanto mais for a área de cobertura vegetal maior será o valor do NDVI e menor será o valor da TS. Devido a esta relação entre a TST e o NDVI, as mudanças no uso e cobertura do solo têm um impacto indireto sobre a TST e nos valores do NDVI.

Através do histograma (figura 5) é possível analisar que o maior IV se encontra entre 0,39 e 0,49 NDVI. A concentração da maior parte das amostras relaciona-se com a distribuição dos valores de NDVI para as temperaturas em torno de 25 a 27°C. Este maior agrupamento de amostras nestas temperaturas está relacionada com os locais que apresentam pouca quantidade de edificações e pavimentação.



Figura 5 – Histograma dos resultados analisados de NDVI e TST.

Fica evidenciado neste histograma que as áreas com a maior presença de vegetação, melhor NDVI, favorecem a diminuição da TST, em decorrência da baixa incidência de radiação solar que chega a superfície. Aproximadamente 55% da área estudada mostraram-se com valores inferiores a 0,3 de NDVI. Seu baixo valor para a conjuntura urbana é relevado pela baixa quantidade de áreas vegetadas na parte central e nas áreas de expansão urbana, como também a alta densidade de ocupação na porção litorânea da cidade, o que reflete no aumento da TST. Esta relação constatou que quase 60% da área apresentam temperaturas superiores a 27°C.

Os resultados obtidos confirmam que as ilhas de calor se concentram em lugares com menor IV e maior densidade de ocupação. Nas áreas onde predomina a ocupação dos espaços em detrimento da vegetação, as temperaturas são mais elevadas, variando entre 35 °C e 38 °C. Já em locais com maior concentração de áreas vegetadas, prevalecem temperaturas mais amenas, com valores entre 20 °C e 29 °C.

#### 4. Conclusões

Os resultados mostraram que, através do tratamento de imagem do satélite Landsat-TM 5 no canal termal, que a cidade de Maceió possui diferenças significativas em relação à temperatura de sua superfície. Dessa forma, a resposta térmica da área urbana demonstrou que a urbanização seguida dos baixos índices de vegetação é responsável pela distribuição das altas temperaturas, gerando ilhas de calor em alguns bairros, nos quais a população residente está bastante sujeita ao desconforto térmico.

#### Referências Bibliográficas

Arnfield, A. John. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International journal of climatology**, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.

Brandão, A.M.P.M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: Monteiro, C. A. F. Mendonça, F.. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. 192 p.

- Buyantuyev, A.; Wu, J. Urbanization alters spatiotemporal patterns of ecosystem primary production: a case study of the Phoenix Metropolitan Region, USA. **Journal Of Arid Environments**, V. 73, N. 4, p. 512-520, 2009.
- Delgado, R. C.; Rodrigues, R. de Á.; Faria, A. L. L.; Pessôa, C. S. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.25, p. 69-80, 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm)>. Acesso em 25.set.2014.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Dados Meteorológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 25. set. 2014.
- MING, Tsay Chu; LIU, William Tse Horng. Estimativa de albedo, temperatura e NDVI do Estado de São Paulo através de dados AVHRR do satélite NOAA. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, 11. 2000. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CBMET, 2000.. Artigos, p. 3843-3849. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.cbmec.com/cbm-files/>>. Acesso em: 27 set. 2014.
- Monteiro, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Pulo: IGEOG/USP, 1976. 181p.
- Nascimento, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)**. 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011.
- Orhan, O. ; Ekercin, S.; Dadaser-Celik, F.. Use of Landsat Land Surface Temperature and Vegetation Indices for Monitoring Drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-11, 2014.
- Qin, Z., Karnieli, A. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from LANDSAT TM data and its application to the Israel-Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 22, No. 18, p. 3719–3746, 2001.
- Rouse, J. W.; Haas, H.R. Schell, J.A. Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. **Proceedings**, v.1, n. 3, p.309-317, 1973.
- Santos, T. O. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- Wang, W.; Zhu, L.; Wang, R.. An analysis on spatial variation of urban human thermal comfort in Hangzhou, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 16, n. 2, p. 332-338, 2004.