

## **Análise da Formação de Ilhas de Calor em Fortaleza-CE por meio de imagens de satélite**

Fabiano Barbosa dos Santos<sup>1</sup>  
Heliofábio Barros Gomes<sup>1</sup>  
Carlos Denyson da Silva Azevedo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Caixa Postal 57072-900 – Cidade Universitária – AL, Brasil  
santos.fbarbosa@gmail.com  
heliofabio@icat.ufal.br  
ozzydenyson@hotmail.com

**Abstract:** The urbanization at metropolitan areas has caused changes in various environmental features, such as changes in soil and surface temperature, becoming the starting point for training the phenomenon of Heat Islands. The Heat Islands refers to urban air and surface temperatures that are higher than nearby rural areas. The objective of this paper is to analyze the formation of heat islands in the city of Fortaleza, capital of Ceará. For this study was used three images with temporal variations of three years, collected during the dry northeast region, through the Thematic Mapper sensor on board the Landsat 5 satellite. Using the thermal band which is related to the infrared channel, the figures were transformed digital temperature data surface by means of the algorithm Algorithm Surface Energy Balance for Land (SEBAL). The results have different maximum temperature in each of the images in the three years checked with variations arriving between 7 ° C and 10 ° C in a total of six years in localized areas with higher environmental degradation, which were areas near the center, international airport Fortaleza and neighborhood Mayor Joseph Walter, compared to areas of greater vegetation cover has the characteristics necessary for the formation of heat islands.

Palavras-chave: remote sensing, heat islands, surface temperature, sensoriamento remoto, ilhas de calor, temperatura de superfície

### **1. Introdução**

O município de Fortaleza, localizado no litoral do Estado do Ceará, com uma população atual de 2.452.185 habitantes, em uma área de 315 Km<sup>2</sup> segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), está em constante desenvolvimento urbano, acarretando mudanças em diversos parâmetros biofísicos da cidade, entre eles a cobertura e uso do solo que corresponde ao transporte de energia à atmosfera, e a temperatura da superfície terrestre e do ar, fundamentais para a ocorrência de Ilhas de Calor (IC). De acordo com Coltri (2007), IC é um termo usado para as áreas que desenvolvem anomalias na temperatura de superfície e na temperatura do ar, quando comparados com locais dentro da própria cidade ou de sua vizinhança rural.

A formação e intensidade das IC ocorrem devido à localização da região, condições climáticas, atividades industriais, condições de tempo e densidade de construções. Em ambientes urbanos essa densidade é alta com diversas superfícies horizontais muito próximas umas das outras, ao contrário dos ambientes rurais que possuem baixa densidade de construções e maior quantidade de vegetação esparsa (AMORIM, 2009; SAYDELLES, 2005). As IC podem ser identificadas em períodos diurnos e noturnos. No período noturno ocorre a maior diferença de temperatura entre regiões urbanas e rurais, devido ao processo de retenção de energia, em zonas urbanas com solo sem vegetação a incidência de raios solares é direta ao contrário das zonas rurais que possuem solo com vegetação onde a energia retida realiza processos de evaporação e evapotranspiração.

O grande desenvolvimento urbano ocasionou diversos estudos referentes a ilhas de calor. Nesse avanço a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), é possível obter por meio do sensor infravermelho (banda termal), a temperatura de superfície terrestre, através

dos dados obtidos aplicados na equação de Planck invertida, a qual relaciona a temperatura com comprimento de onda e energia, ou seja, quanto maior a temperatura em um respectivo comprimento de onda, maior será a energia emitida por um corpo negro (WENG; YANG, 2004). A grande vantagem da utilização do SR para obtenção de informações sobre a superfície em relação a medições convencionais, além do baixo custo, é a área de cobertura que pode ser explanada, sua obtenção pode ser realizada em diferentes resoluções espaciais.

Diversas pesquisas mostram grandes centros urbanos com identificações de IC, porém poucos trabalhos foram realizados para a região do nordeste brasileiro. O objetivo principal da presente pesquisa é a identificação de ilhas de calor utilizando imagens de satélite do município de Fortaleza-CE.

## 2. Metodologia de Trabalho

A região selecionada para identificação das ilhas de calor foi o município de Fortaleza, capital do Estado do Ceará (Fig. 1). O clima da região, mesmo estando enquadrado dentro do semiárido, é tropical úmido, classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köppen (Aw), registrando estação chuvosa no período de verão e seca no período de inverno, com uma média anual de temperatura de 26 °C. Possui um regime pluviométrico irregular, variando entre 13 mm no período mais seco (segundo semestre) e 348 mm no período chuvoso (primeiro semestre).

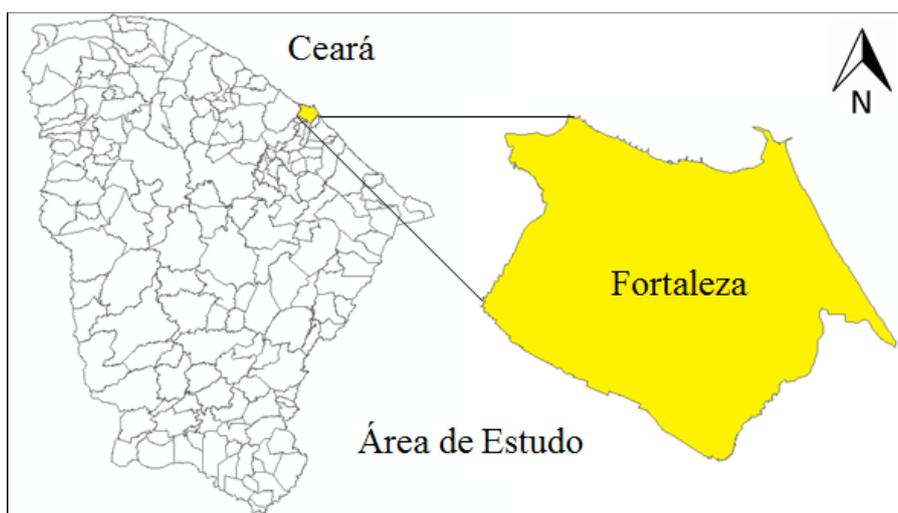


Figura 1. Identificação da área de estudo

Para realização deste trabalho foram utilizadas três imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat 5, obtidas através da Divisão de Geração de Imagens (DGI), correspondentes as datas 01/08/2001, 24/07/2004 e 03/09/2007, referentes ao dia de ordem do ano 213, 205 e 246 respectivamente. As imagens possuem uma variação temporal de três anos, selecionadas no período seco da região nordeste devido a pouca ou nenhuma cobertura de nuvens na parte litorânea. Dentre as informações das imagens estão, horário de passagem do satélite às 9h e 30min (tempo solar), no ponto 63 e órbita 217, Datum WGS84, projeção cartográfica em UTM (Universal Transversa de Mercator).

O tratamento de imagens foi realizado por meio do software Erdas 9.1, através da ferramenta Model Maker onde foi aplicado o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) para determinação da variável em questão. Na sequência uma

representação do modelo utilizado para determinação da temperatura de superfície por meio da transformação dos níveis de cinza segundo Bastiaanssen (2000):

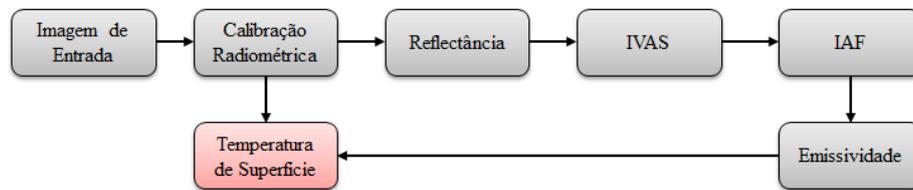


Figura 2. Diagrama das etapas para obtenção da temperatura de superfície.

## 2.1 Calibração Radiométrica

A primeira etapa para processamento digital da imagem é realizar uma calibração, a qual consiste em converter cada pixel das bandas coletadas em radiância espectral monocromática por meio da expressão (CHANDER e MARHAM, 2003):

$$L_{\lambda} = a + \frac{b-a}{255} ND \quad (1)$$

O subíndice  $\lambda$  representa cada banda do satélite TM-Landsat 5,  $ND$  é a imagem de entrada e os termos  $a$  e  $b$  são as radiâncias mínimas e máximas correspondentes a cada banda.

## 2.2 Reflectância Monocromática

Essa etapa é determinada por meio da razão entre o fluxo de radiação solar refletida e o incidente (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{K_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

$L_{\lambda}$  é a radiação espectral de cada banda,  $d_r$  é a distância terra sol,  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $K_{\lambda}$  é a irradiância espectral no topo da atmosfera referente a banda  $\lambda$ .

## 2.3 IVAS (Índice de Vegetação de Ajuste do Solo)

Esse é um índice de ajuste do efeito “background” do solo determinado por (HUETE, 1988):

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{L + \rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

$L$  é um fator de ajuste do solo, o valor utilizado foi considerado o mais usado na literatura (ACCIOLY et al., 2002; BOEGH et al., 2002),  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  são as reflectâncias das bandas 4 e 3 respectivamente do sensor TM-Landsat 5.

## 2.4 IAF (Índice de Área Foliar)

Esse índice funciona como um indicador de biomassa de cada pixel da imagem, estimado por (ALLEN et al., 2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69-IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (4)$$

## 2.5 Emissividade

Como os pixels não emitem radiação, é necessário estimar a emissividade no domínio espectral da banda termal ( $\epsilon_{NB}$ ):

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \cdot IAF \quad (5)$$

## 2.6 Temperatura de Superfície

A temperatura de superfície é estimada por meio da equação de Planck invertida, dependente da radiância espectral da banda termal ( $L_6$ ) e da emissividade ( $\epsilon_{NB}$ ), de acordo com a expressão (MORSE et al., 2000; ALLEN et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{L_6} + 1\right)}$$

As constantes  $K_1$  e  $K_2$  correspondem respectivamente aos valores  $607,76 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e  $1260,56 \text{ .K}$

## 3. Resultados e Discussão

As três imagens foram recortadas de acordo com os limites geográficos do município de Fortaleza por meio de uma malha digital, estão com uma variação temporal de três anos e uma resolução espacial de 30 m. Os recortes são apresentados na composição RGB543 (Figuras 3a, 4a e 5a), e seu tratamento nos mapas temáticos de temperatura de superfície (Figuras 3b, 4b e 5b). Foram destacadas, três regiões que sofreram as maiores elevações de temperatura. Regiões próximas ao: Centro de Fortaleza – A1, Aeroporto Internacional de Fortaleza – A2 e Bairro Prefeito José Walter – A3.

As áreas em tons de verde nas composições RGB543 correspondem à vegetação, locais com os tons de verde mais escuro correspondem à vegetação mais densa, o que indicará no mapa térmico uma menor temperatura devido a sua capacidade de retenção de energia para realização de processos de evapotranspiração. Tonalidades de roxo correspondem às áreas urbanas, e os tons de azul, mais escuros, correspondem a corpos d'água.

Na análise da Figura 3a, a área A1 em comparação com as áreas A2 e A3, possui uma densa urbanização, seu mapa temático de temperatura (Figura 3b) aponta variações nessa área entre 22 a 23 °C, assim como nas áreas próximas. Entretanto, em 2004 (Figura 4b), o intervalo de temperatura se eleva para 25 a 26 °C, acarretado por uma diminuição nos tons de verde significando uma baixa na cobertura da vegetação (Figura 4a). O aumento da temperatura apesar de parecer gradativo entre as cenas de 01/08/2001 e 24/07/2004, para a região A1 ocorre um aumento maior do que em sua vizinhança. Em 03/09/2007, o mapa temático da temperatura para A1 (Figura 5b) apresenta um aumento de temperatura bastante elevado em relação aos anos anteriores. Os níveis de temperatura subiram para mais de 4 °C em relação a cena de 24/07/2004, obviamente por ser uma região próxima ao centro, propicia a densa urbanização não só em sua área, mas em toda a sua volta, no decorrer dos anos podem contribuir fortemente para o aumento significativo da temperatura nesta região.

A área A2, mesmo com um grande percentual de vegetação em sua volta, aponta o aeroporto com as temperaturas mais altas em toda a cena de 01/08/2001(Figura 3b), valores em alguns pontos ficaram entre 25 e 26 °C, além da pista de pouso e decolagem ser impermeável, às áreas vizinhas à pista também não possuem vegetação, estes fatores favorecem ao aumento da temperatura no solo e consequentemente aumento na temperatura do ar. Em 24/07/2004, no mapa temático da temperatura (Figura 4b), são obtidos picos com temperaturas acima dos 30 °C, este fato também favorece a ideia de que o aumento da temperatura entre 01/08/2001 e 24/07/2004 não ocorreu de forma gradativa para todas as áreas no município de Fortaleza. Na Figura 4a é possível confirmar essa análise observando a mudança na urbanização ao redor do aeroporto, um leve aumento nas edificações próximas, o que pode explicar o aumento na área sem vegetação quando comparada com outras áreas de maior cobertura vegetal. Na cena de 03/09/2007, a temperatura predominante em maior parte da área do aeroporto está acima dos 30 °C (Figura 5b).

A área A3, em 01/08/2001, apresenta uma quantidade relevante de vegetação em toda região (Figura 3a). As temperaturas são bem mais baixas das encontradas em A1 e A2, variando entre 20 a 22 °C. Em 24/07/2004 o aumento foi gradativo para A3, em media uma elevação entre 1 e 2 °C, isto também é outro fator a validar a hipótese do aumento entre 01/08/2001 a 24/07/2004 ser gradativo em algumas regiões do município. Em contrapartida, na imagem de 03/09/2007 (Figura 5a), é observado desmatamento acentuado de vegetação no bairro, esta retirada de vegetação afeta diretamente a temperatura da região, como verificado na Figura 5b. O aumento drástico de temperatura em relação aos outros anos fica em praticamente toda a área acima dos 30 °C, gerando uma Ilha de Calor.

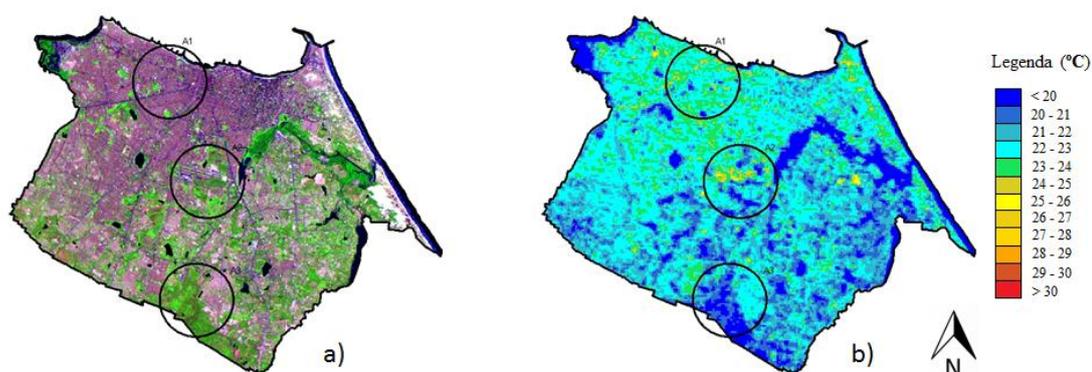


Figura 3. Recorte do município de fortaleza em composição RGB543 (a) e a temperatura de superfície terrestre (b) para o dia 01/08/2001.

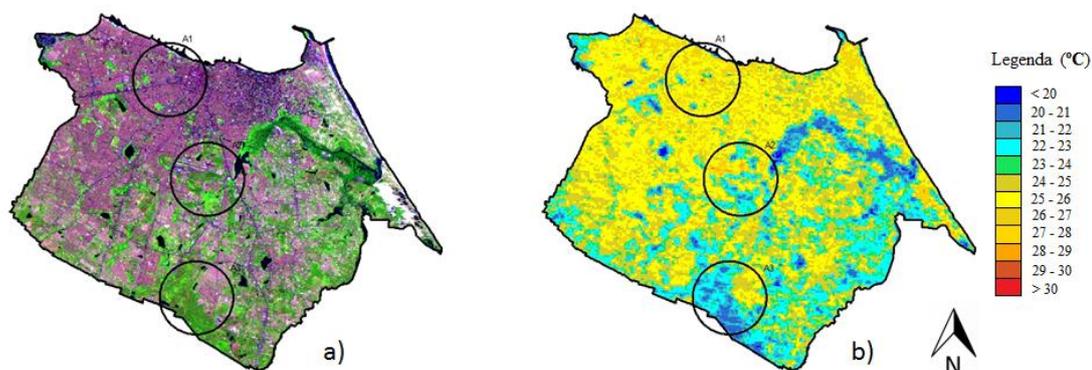


Figura 4. Recorte do município de fortaleza em composição RGB543 (a) e a temperatura de superfície terrestre (b) para o dia 24/07/2004.

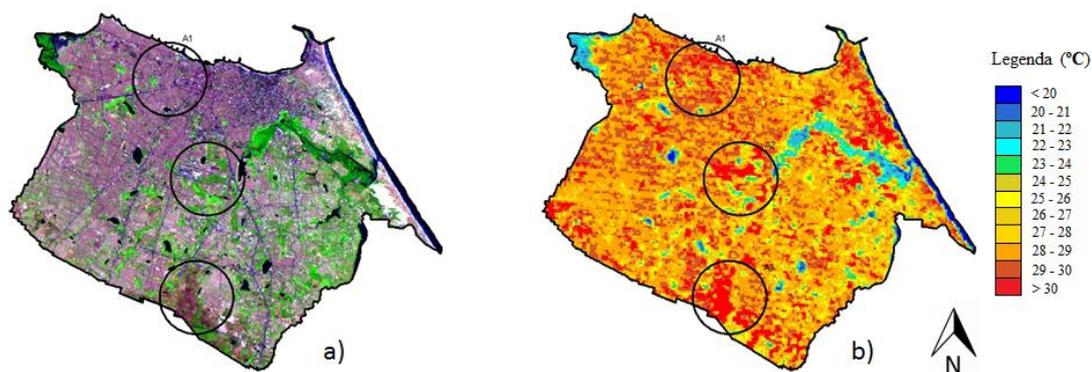


Figura 5. Recorte do município de Fortaleza em composição RGB543 (a) e a temperatura de superfície terrestre (b) para o dia 03/09/2007.

As regiões selecionadas apresentaram formações de Ilhas de Calor, devido às elevações de suas temperaturas em relação à vizinha de Fortaleza. O aumento de temperatura nas áreas urbanas selecionadas entre 01/08/2001 e 03/09/2007 chegou a 8 °C. Os menores valores de temperatura encontrados foram em regiões com vegetação densa e em corpos hídricos. Pereira (2006) estimou o mapa térmico da região Metropolitana de São Paulo, por sensoriamento remoto, no dia 25/05/2004, encontrando os maiores elevações de temperatura em cerca de 28 °C no centro e valores mínimos em cerca de 16 °C em regiões onde a vegetação era mais densa.

#### 4. Conclusões

Diante dos resultados obtidos, foram determinados que os pontos com maior aglomeração urbana apontam os maiores níveis de temperatura, apresentados em 01/08/2001 com uma máxima referente a 23 °C, no decorrer de aproximadamente três anos, em 24/07/2004, essa média aumentou para cerca de 27°C e logo após mais três anos em 03/09/2007 apresenta valores superiores a 30 °C. Esse comportamento obtido ocasionou a formação de Ilhas de Calor em três áreas com maior índice de perda na cobertura vegetal, demonstrando que as áreas urbanas sofrem mudanças climáticas ocasionadas devido a intensa urbanização que ocorre nessas regiões, alterando a temperatura do ar e acarretando em desconforto térmico para a população. Esses fatores destacam a importância de área verde e corpos hídricos para uma significativa redução deste problema.

#### Referências Bibliográficas

ACCIOLY, L. J. et al. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, , Campina Grande, v. 6, n.3, p.492-498, 2002.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL** (Surface Energy Balance Algorithms for Land): advanced training and user's manual, Idaho, 2002.

AMORIM, M. C. C. T. **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)**. Revista franco-brasileira de Geografia, 2009, n° 7.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL: based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, p. 87-100, 2000.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 329-343, 2002.

COLTRI, P. P. **Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5151-5157.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE: Transactions on Geoscience and Remote Sensing.** v. 41, n.11, 2003.

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

MORSE, A. et al. **Application of the SEBAL:** methodology for estimating consumptive use of water and streamflow depletion in the bear river basin of idaho through remote sensing-final report. Idaho: University of Idaho. Department of Water Resources, 2000.

PERREIRA, G; CAMARGO, F. F.; OLIVEIRA, L. G. L; GUERRA, J. B. Identificação do fenômeno de Ilhas de Calor para a região metropolitana de são Paulo através de dados provenientes do Satélite Landsat 7 ETM+. In: III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

SAYDELLES, A.P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

WENG, Q.; YANG, S. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. **Journal of Environmental Management,** Oxford, v.70, n.2, p.145-156, 2004.