ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL usando Dados Orbitais do Landsat 5

Dimas de Barros Santiago¹, Heliofábio Barros Gomes²

¹Meteorologista, Mestrando do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas, Brasil. E-mail para correspondência: dimas.barros91@gmail.com (Santiago, D.B.). ²Prof. do ICAT/UFAL. E-mail: heliofabio@icat.ufal.br.

Artigo recebido em 26/04/2016 e aceite em 16/05/2016

RESUMO

A crescente urbanização das últimas década só correu de forma muito rápida e, atualmente, metade da população do planeta vive em áreas urbanas. O grande número de edificações e a supressão da vegetação vem permitindo a ocorrência das chamadas “ilhas de calor”, áreas com concentração de calor em função da redução/impossibilidade de fluxos de ar. Objetivou-se identificar através das imagens do satélite TM Landsat 5, a temperatura da superfície terrestre da cidade de Maceió/AL destacando as áreas com maiores temperaturas, e identificando o efeito das ilhas de calor na zona urbana da cidade. Foram utilizadas três imagens do satélite Landsat 5-TM, adquiridas no Catálogo de Imagens-DGI –INPE, com 7 bandas espectrais cada uma. As imagens correspondem à passagem do satélite pelo quadrante órbita/ ponto 214-67 em 03/09/2003, 26/08/2006 e 17/03/2011. Foram obtidos dados horários de temperatura do ar da estação localizada na Universidade Federal de Alagoas. As imagens foram processadas através de modelos da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.2 e QGIS 2.12, gerando o mapeamento da temperatura na superfície terrestre, que serviu como base para a identificação das ilhas de calor. Os resultados mostraram as variações espaciais de temperatura quando comparado à malha urbana com a zona rural, caracterizando assim o fenômeno de ilhas de calor. Observou-se o aumento das temperaturas de superfície quanto ao desenvolvimento da malha urbana e a variação temporal, com destaque para o ano de 2011. Estes resultados servirão de subsídios na elaboração de estratégias para minimizar o desconforto térmico das áreas onde ocorrem ilhas de calor.

Palavras-chave: Ilha de Calor, Sensoriamento Remoto, Temperatura de Superfície.

Heat Islands in the City of Maceió/AL using Orbital Data from Landsat 5

ABSTRACT

In recent decades, the urbanization process has expanded so Very Quick and currently Planet Population Half do, live in urban areas. The City became a Major form of expression of anthropogenic modifications, FICA Where evident the troubled relationship between man and nature. For this search were used three Images obtained hair Landsat 5-TM, acquired in Image Catalog-DGI-INPE. The images have 7 spectral bands Each One. The images correspond to the satellite passage hair quadrant orbit/point 214-67 on 03/09/2003, 26/08/2006 and 17/03/2011. Were obtained data Air temperature schedules to any site BDMEP/INMET, the station located at the Federal University of Alagoas. The processing of the images was developed through models Tool Model Creator software ERDAS Imagine 9.2 and Qgis 2.12 Generating the temperature mapping the Earth's surface, que SERVED As paragraph based on the identification of heat islands. Given the above, we sought to identify and analyze through the satellite images TM Landsat 5, the temperature of the land surface of the City of Maceió / AL highlighted as areas with higher temperatures and identifying the effect of heat islands in the urban area of the city. The results showed how spatial variations in temperature When compared to the urban area with the countryside, SO characterizing the phenomenon of heat islands. There was an increase in surface temperatures As for the development of the urban network and a highlight Temporal variation For the year 2011, where were notorious THE LARGEST values que 35°C with shades of black, where the TEM City Greater built density. These results may serve as Subsidies on Strategies Development to minimize thermal discomfort of the areas where occur heat islands.

Keywords: Heat Island, Remote Sensing, Surface Temperature.

Introdução

O clima urbano caracteriza-se, frequentemente, pelo aumento da temperatura, tanto da superfície do solo quanto do ar, em

relação ao seu ambiente rural circunvizinho. O incremento nos valores de temperatura deve-se às condições particulares do meio ambiente urbano, seja por sua rugosidade, ocupação do solo,

orientação, permeabilidade e propriedades físicas dos materiais constituintes, entre outros fatores (Oke et al., 1991).

Os grandes centros urbanos estão atualmente sofrendo com consequências de sua ocupação de forma desordenada, causando grandes modificações no clima predominante da região, gerando grandes elevações das temperaturas nas áreas urbanas, pela substituição da vegetação por materiais com capacidade elevada de armazenamento de calor, causando um desconforto térmico para a população. Existe uma variação na temperatura de uma área urbanizada que pode chegar até 7°C de diferença, quando comparada com sua área circunvizinha, conforme um estudo realizado por Lombardo (1985) na cidade de São Paulo.

Uma das consequências geradas pelo processo de ocupação e desenvolvimento nestas metrópoles é o fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbano (ICU) (Lombardo, 1985). Quantidades de ar quente se fazem presentes em maior concentração no centro das cidades que sofrem com esse desequilíbrio térmico. Essa condição dificulta a evaporação e reduz o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados, trazendo complicações para a vida do homem nessas metrópoles. Especialmente nas regiões onde existem muitos prédios, trânsito de veículos automotivos e áreas impermeabilizadas, a ilha de calor é um efeito característico. Ambientes com pouca arborização favorecem o desenvolvimento ou o agravamento desse fenômeno. Por isso, a sensação de calor é maior que a temperatura real do momento e é tão desconfortável para os animais e rios seres humanos que habitam nessas regiões fortemente urbanizadas (Teza, 2005).

A ilha de calor configura-se como um fenômeno decorrente do balanço de energia no espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies e consequente elevação da temperatura do ar (Barbirato, Souza e Torres, 2007).

De todas as modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada consiste no fenômeno chamado ilha de calor. É um fenômeno próprio das cidades, resultante do processo de urbanização, com características peculiares do meio urbano (Barbirato, Souza e Torres, 2007). O fenômeno da

ilha de calor vem sendo observado em muitas cidades em todo o mundo (Gartland, 2010).

A quantidade de vegetação existente em áreas urbanizadas é diretamente relacionada à formação das ilhas de calor. Uma das principais formas de medição dos efeitos da cobertura vegetal em áreas urbanas é através do cálculo do índice de vegetação. Este índice de vegetação resulta da combinação dos valores de refletância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, possuindo uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre. Em função disto, uma característica inerente aos índices de vegetação é a redução no volume dos dados a ser analisado, pois praticamente toda a informação referente à vegetação fica resumida a somente um valor numérico (Rizzi, 2004).

Insira um texto fazendo a ligação entre os índices de vegetação e o albedo... Segundo Robinove et al. (1981), imagens de albedo podem ser derivadas diretamente de imagens digital do Landsat e uma sequência de imagens de albedo podem ser usadas para mostrar mudanças na superfície. As mudanças podem ser mapeadas em um nível de percentagem selecionada, para mostrar a localização, o padrão, quantidade, e direção (aumento ou diminuição) na mudança do albedo.

Diante do exposto, esta pesquisa objetivou identificar as variações da temperatura da superfície terrestre na cidade de Maceió/AL, destacando as áreas com maiores temperaturas, identificando o efeito das ilhas de calor na zona urbana desta cidade.

Material e métodos

Área de estudo

O município de Maceió é a capital do estado de Alagoas, com um território de, aproximadamente, 511 km², equivalente a 1,17% do território (Figura 1). Situa-se entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mundaú, com grande importância econômica para os pescadores ribeirinhos. Faz divisa entre as cidades de Satuba e Rio largo. Estende-se entre os paralelos 09°21'31" e 09°42'49" de Latitude sul e os meridianos 35°33'56" e 35°38'36" de Longitude oeste.

Figura 1. Localização geográfica da cidade de Maceió, capital de Alagoas.

Clima

A cidade de Maceió apresenta clima quente e úmido. Caracterizado segundo a classificação climática de Köppen. Suas temperaturas médias mensais variam em torno de 25,1°C. Tendo uma máxima mensal de 29,9°C e a mínima de 20,8°C. A umidade relativa do ar é em média de 80,5 %, sendo julho o mês mais úmido do ano e novembro o mês mais seco. Seu índice pluviométrico é superior a 1410 milímetros anuais. Na região costeira, as chuvas ocorrem mais frequentes nos meses de abril a junho, com ventos soprando de sudeste.

Vegetação

A cidade de Maceió apresenta vegetação com características herbáceas (gramíneas), e arbustivas (poucas árvores e espaçadas), as vegetações naturais encontram-se degradadas em algumas áreas distantes dos tabuleiros costeiros. Ocorrem remanescentes de mata atlântica e descaracterizada (macega-capoeira). A influência da maré alta nos baixos cursos dos rios dão origens à formação de manguezais.

Relevo

O relevo do município apresenta um predomínio de terras baixas com altitudes inferiores a 100 m, ocorrendo, no entanto na porção norte-noroeste áreas que alcançam mais de 160 m. Estruturalmente são encontradas três unidades: a Planície ou Baixada Litorânea, os Tabuleiros Costeiros e o Maciço Cristalino da Saudinha. A Planície Litorânea compreende a área de menor expressão espacial e de menor altitude, 0 a 10 m. De origem quaternária, nela predominam as formas de acumulação marinha, fluvial, fluviomarina, fluvio-lacustre e eólica, representadas por terraços, pontas arenosas,

restingas, cordões litorâneos, ilhas fluviomarinhas, recifes e lagunas (Albuquerque, 2012). Sua altimetria varia entre 0 metro ao nível do mar e 20 m na planície litorânea, passando entre 20 e 180 m nas encostas e nos topos dos tabuleiros.

Para esta pesquisa foram utilizadas três imagens obtidas pelo satélite Landsat 5-TM, adquiridas no Catálogo de Imagens-DGI-INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As imagens correspondem à passagem do satélite órbita/ ponto 214-67 em 03/09/2003, 26/08/2006 e 17/03/2011. Foram obtidos dados horários de temperatura do ar no site do BDMEP/INMET (<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>), da estação localizada na Universidade Federal de Alagoas (Figura 2).

As sete bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas, através dos softwares ERDAS Imagine 9.2 e QGIS 2.12, que resultou em um recorte irregular referente à cidade de Maceió.

No Albedo da Superfície – Etapa 4, Na Equação 5 o Z é referente a altitude de cada pixel, calculada através da média aritmética de todos os bairros, medindo a altitude de cada bairro com auxílio do Google Earth. No processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.2 e o QGIS 2.12, para a obtenção da temperatura na superfície terrestre, que serviu como base para a identificação das ilhas de calor. Para identificação de ilhas de calor usou-se o cálculo de temperatura de superfície, processando e transformando os níveis de cinza em temperatura de superfície. Destacando as áreas de maiores temperaturas as quais foram analisadas se apresentam características de ilhas de calor. Onde a principal característica está, essencialmente,

definida pela diferença de temperatura entre o centro urbano e as zonas rurais.

Figura 2. Localização da atual estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). RU = Restaurante Universitário. Fonte: *Google Earth* (2016).

As etapas de processamento das imagens estão descritas no fluxograma da Figura 3. Nas etapas de processamento são aplicadas operações para o cálculo da radiância espectral, reflectância

espectral, índices de vegetação, albedo da superfície, temperatura da superfície, realizadas no software ERDAS Imagine 9.2.

Figura 3. Fluxograma das etapas do processamento da temperatura de superfície. Fonte: Autor, 2016.

Calibração Radiométrica – Etapa 1

Para obtenção da Calibração Radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat (705 km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia

emitida por cada pixel segundo a equação 1 de Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) (Tabela 1); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5-TM.

Tabela 1. Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmax) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (após 4 de maio de 2003).

Bandas espectrais	Comprimento de onda	Após 04/05/2003		
	μm	Lmin	Lmax	Kλi
1 (Azul)	0,45-0,52	-1,52	193	1957
2 (Verde)	0,52-0,60	-2,84	365	1826
3 (Vermelho)	0,63-0,69	-1,17	264	1554
4 (IV-Próximo)	0,76-0,90	-1,51	221	1036
5 (IV-Médio)	1,55-1,75	0,37	30,2	215
6 (IV-Termal)	10,4-12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-Distante)	2,08-2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen (2007a).

Reflectância Monocromática – Etapa 2

A Etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_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 segundo a Equação 2 (Allen et al., 2002):

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

onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$) (Tabela 4), Z é o ângulo zenital solar e d_r é a razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DJ), que de acordo com Iqbal (1983), é dada por:

$$\begin{aligned} Dr. = \\ \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma \\ + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma \quad (3) \\ + 0,000077 \sin 2\Gamma \end{aligned}$$

onde: $\Gamma = 360(DJ-1)/365$

DJ: é o dia Juliano (contagem sucessiva de dias a partir do dia 1° de janeiro de cada ano).

Albedo da Superfície – Etapa 4

Na Etapa 4 obtém-se o cômputo do albedo da superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos α , pela Equação 4:

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

onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z \quad (5)$$

onde z é a altitude de cada pixel (m). Utilizado z = Referente à altitude de cada pixel, calculada através da média aritmética de todos os bairros de Maceió-Al, medindo a altitude de cada bairro com auxílio do *Google Earth*.

Índice de Vegetação: IVDN– Etapa 5

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) pela soma das mesmas (Allen et al., 2002):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (6)$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5-TM.

O IVDN é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o IVDN varia entre 0 e 1, para a água e nuvens o IVDN geralmente é menor que zero.

Temperatura da Superfície – Etapa 6

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela equação 10:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (7)$$

Onde $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$ são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5-T (Allen et al., 2002).

Resultados e discussão

Com o passar dos tempos, os impactos causados pelo homem estão ficando mais evidentes, consequências geradas devido à ocupação populacional e desenvolvimento econômico estão cada vez mais presentes, o efeito de Ilhas de Calor Urbano é uma delas, com influência direta no conforto térmico e higrométrico para as pessoas que nelas habitam. Segundo a Tabela 2, comparando a população de Maceió-AL entre os anos de 2000 e 2010, o crescimento da população residente foi de 134.989 habitantes, onde, aproximadamente, vivem apenas 6,6% da população da cidade de Maceió-AL; 93,4% representam a população da zona urbana. A estimativa para 2015.1 foi de 1.013.773 habitantes, um crescimento de 81.025 pessoas em cinco anos, aumentando o crescimento das malhas urbanas.

Tabela 2. Censo 2010 para a cidade de Maceió-AL. População Estimada 2015.1 = 1.013.773 hab.

Município	População		Urbana	Rural	Área total km ²	Densidade demográfica hab.km ⁻²
	Residente 2000	Residente 2010				
Maceió-AL	797.759	932.748	932.129	619	503,1	1854,12

Fonte: IBGE, 2016.

Conceitualmente, albedo é uma medida da refletância solar de um corpo, objeto ou de uma superfície, ou seja, é a razão entre a radiação eletromagnética refletida e a quantidade incidente (Costa, 2007, p. 20). Quando se modifica a forma de ocupação do solo por grandes quantidades de casas e prédios, ruas e avenidas, entre outras formas de construção, aumenta-se significativamente a irradiação de calor para a atmosfera, quando relacionando o centro com as áreas periféricas ou rurais onde, em geral, se faz presente maior densidade vegetada. Nota-se que os diferentes padrões de reflectividade, ou de albedo, dependentes das matérias utilizados na construção civil, a maior a quantidade de radiação

será absorvida e mais calor será emitido pelas superfícies. Observou-se nos mapas de albedo de superfície (Figura 4) que a variação do albedo de forma espacial e temporal, quando avaliada a variação temporal, notou-se que à medida que se passaram os anos, o albedo foi crescente na zona urbana, visto que o crescimento da malha urbana se fez presente. Analisando a variação espacial, os maiores valores (> 18%) foram encontrados nas áreas onde houve a modificação ou substituição da vegetação por áreas construídas e algumas áreas na parte rural, onde se notou a pouca vegetação ou solo exposto. Valores diferenciados para corpos d'água estão relacionados à profundidade ou turbidez da água.

Figura 4. Mapas temáticos de albedo de superfície da cidade de Maceió nos períodos A) 2003, B) 2006 e C) 2011.

As modificações ocorridas nos elementos climáticos fazem com que a cidade gere um clima próprio, resultante da interferência das indústrias, da circulação de veículos, da retirada da vegetação, da pavimentação asfáltica e concreto, que agem de maneira direta alterando o clima em escala local. Essas modificações criam anomalias, sendo seus efeitos sentidos pela população através

do conforto térmico, qualidade do ar e alterações nos impactos pluviais (Monteiro, 1976). Pontos foram selecionados para mostrar a diferença da vegetação e a temperatura de superfície, sendo eles: P1 (9° 39' 45.13" S/ 35° 44' 36.61" W); P2 (9° 37' 04.68" S/ 35° 44' 16.24" W); P3 (9° 31' 53.97" S/ 35° 42' 59.83" W); P4 (9° 29' 11.70" S/ 35° 42' 26.30" W), em destaque na Figura 5.

Figura 5. Localização dos pontos selecionados para comparação da temperatura de superfície e o índice de vegetação da diferença normalizada.

O IVDN tem uma relação inversa com a temperatura de superfície, onde tem se verificado que para IVDN próximo de 1, a temperatura tende a ser menor, e para IVDN próximo de 0, a temperatura de superfície tende a ser maior. As superfícies vegetadas têm maior valor de IVDN, em função da maior absorção da banda 1, pela clorofila, nas folhas verdes, e da alta reflectância da banda 2, em face da turgidez das folhas

saudáveis (Liu, 2003). A Figura 6 mostra a relação entre o IVDN (A) e a temperatura de superfície (B), mostrando que os menores valores de IVDN corresponderam às maiores temperaturas, quando observada a variação dos pontos P1 (zona urbana) até P4 (zona rural) se referem a uma variação de cobertura e temperatura.

Figura 6. Comparações entre o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada-IVDN (A) e a temperatura de superfície (B), em diferentes pontos e anos. TS = temperatura de superfície, em graus Celsius (°C); IVND = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

Nos mapas temáticos de IVDN para os dias 03/09/2003, 26/08/2006 e 17/03/2011 (Figura

7), a cidade de Maceió está subdividida em cinco faixas com tonalidades diferentes, onde os

maiores valores de IVDN mostraram maiores densidades de vegetação, e os menores valores para os corpos d'água (valores negativos) e solo exposto ou com pouca vegetação (entre 0.01-0.40). Fazendo uma análise entre as três datas observou-se que no ano de 2006 (7B) prevaleceu um aumento na vegetação na zona rural, quando se comparou com o ano de 2003 (7A), e uma

redução da densidade de vegetação no ano de 2011 (8C), quando comparado com o ano de 2006 (7B). O mapa mostrou que a evolução da zona urbana, com o decorrer dos anos, aumentou os valores baixos de índice de vegetação, os valores entre 0.01-0.40 ficaram em maior destaque nos anos de 2011 (7C), quando se comparou com os demais anos de investigação.

Figura 7: Mapas temáticos de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da cidade de Maceió nos períodos A) 2003, B) 2006 e C) 2011.

As cidades apresentam temperaturas médias maiores do que as zonas rurais de mesma latitude. Dentro delas, as temperaturas aumentam das periferias em direção ao centro. O uso de grande quantidade de combustíveis fósseis em aquecedores, automóveis e indústrias transformam a cidade em uma potente fonte de calor (Lombardo, 1985). A Figura 8 mostra o município de Maceió/AL, com sua área urbana e rural, onde pode-se observar a variação da temperatura de superfície, comparando a zona urbana com a zona rural, notando claramente que a zona urbana tem as temperaturas mais elevadas, uma característica principal de ilhas de calor, com exceção da parte

superior esquerda (Figura 8C), caracterizando uma área de plantação agrícola com variação na vegetação e algumas partes com solos nus (ausência de vegetação), os quais mostraram algumas temperaturas elevadas. Em um estudo anterior, realizado por Araújo (2006), destacou que o aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre, principalmente, por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares.

Quando se trata dos elementos climáticos, a temperatura é um dos elementos de maior sensibilidade, sendo influenciada facilmente pela urbanização; essa mudança é observada, muitas

vezes, em nível local nos grandes centros urbanos, uma mudança vista facilmente quando observamos a Figura 8, com destaque para as áreas de maiores influência humana (parte baixa de Maceió-AL), com tonalidades entre vermelho e preto, onde existem influências de grandes verticalizações e expansões de forma desordenada de ocupação do solo. Autores definem uma das características do efeito de ilhas de calor como

área de maiores temperaturas nos centros urbanos, quando comparadas com a zona rural. Através de uma análise da imagem de 2011 (8°C) pode-se observar uma diferença de 10°C entre um ponto A, na zona urbana, e um ponto B, na zona rural; na literatura, autores relatam diferenças de até 7°C entre uma área e outra, a exemplo da cidade de São Paulo (Lombardo, 1985).

Figura 8: Mapas temáticos de Temperatura de Superfície. A 2003, B 2006 e C 2011.

Conclusões

Os mapas de Albedo de superfície foram capazes de delimitar e destacar as áreas na cidade de Maceió com as maiores temperaturas na zona urbana da cidade, onde os materiais utilizados nas construções da malha urbana modificam a forma de refletividade local, possibilitando a formação de ilhas de calor.

Observou-se nos mapas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada que os menores valores foram nas áreas de construções (zona urbana) e algumas partes na zona rural, a variação de forma negativa, diminuição da densidade vegetada com o decorrer dos anos e aumento da malha urbana.

Os mapas de temperatura de superfície mostraram as variações espaciais de temperatura quando comparado à malha urbana com a zona rural, característica de ilha de calor.

Ocorreu aumento das temperaturas de superfície quanto ao desenvolvimento da malha urbana e a variação temporal, destaque para o ano de 2011 onde ficaram notório os valores maiores que 35°C com tonalidades em preto, onde a cidade tem maior densidade construída.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela disponibilização da Bolsa de pesquisa.

Referências

- Accioly, L. J., Pacheco, A., Costa, T. C. C., Lopes, O. F., Oliveira, A. J., 2002. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6, 492-498.
- Allen, R. G., 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0.
- Barbirato, G. M., Souza, L. C. L., Torres, S. C., 2007. Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Macéio: EDUFAL.
- Bastiaanssen, W. G. M., 2000. Sebal based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229, 87-100.
- Boegh, E., Soegaard, H., Thomsen, A., 2002. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment* 79, 329-343.
- Coltri, P. P., 2006. Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: Análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz/USP.
- Costa, A. D. L., 2007. O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Huete, A. R., 1988. Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences. *International Agrophysics* 4, 367-376.
- Huete, A. R., 1988. Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences. *International Agrophysics* 4, 367-376.
- Huete, A. R., Warrick, A. W., 1990. Assessment of Vegetation and Soil Water Regimes in Partial Canopies with Optical Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 32, 155-167.
- Huete, A. R., Warrick, A. W., 1990. Assessment of Vegetation and Soil Water Regimes in Partial Canopies with Optical Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 32, 155-167.
- Iqbal M., 1983. An introduction to solar radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data. Academic Press Canadian.
- Liu, W. T. H., 2003. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Vol. I e II. UCDB. Campo Grande-MS.
- Lombardo, M. A., 1985. Ilha de Calor nas Metrópoles: O exemplo de São Paulo. São Paulo.
- Markham, B. L., Barker, L. L., 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, *Int. Journal of Remote Sensing* 8, 517-523.
- Mendonça, F., Monteiro, C. A. F. (org.), 2009. Clima Urbano. São Paulo: Contexto.
- Oke, T. R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., Watson, I.D., 1991. Simulation of surface urban heat islands under “Ideal” Conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-layer Meteorological* 56, 339-358.
- Rizzi, R., 2004. Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos. [CrossRef](#)
- Robinove, C. J., Chavez, P. S., Gehring, D., Holmgren, R., 1981. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. *Remote Sensing of Environment* 11, 133-156.