

Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió-Al, com base em imagens TM - Landsat 5.

**Taciana Lima Araujo¹
Frederico Tejo Di Pace²**

**¹ Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus A.C. Simões, BR 104 – Norte, Km 97, Cidade Universitária – Maceió-Al. CEP:
57072-970
taciana_limaraujo@hotmail.com**

**² Instituto de Ciências Atmosféricas – UFAL
Campus A.C. Simões, BR 104 – Norte, Km 97, Cidade Universitária – Maceió-Al. CEP:
57072-970
frederico@bol.com.br**

Abstract. The considered work esteem, by means of data of multispectral images of the Landsat 5 - TM, the surface temperature surface of the city of Maceió relating them with the urban mesh. The city of Maceió, in last the 30 years, it had its intensified areal growth, that is, the substitution of green areas for a built urban zone, modifying the relief, waterproofing the ground, thus diminishing the participation of the flow of heat in the ground of the rocking of energy in the surface and increasing the flow of responsible sensible heat for the felt thermal sensation. The used images are composed for seven referring spectral bands the Landsat 5 - TM to days 11 of June of 1990, 21 of September of 1998 and 03 of September of 2003. The calculations had been carried through with the use of software ERDAS 8.5. The temperature of the terrestrial surface estimate was bigger for the year of 1998 being of 26.96°C the average value and for the years of 1990 and 2003 she was practically the same one, being of 24.19°C and 24.90°C respectively.

Palavras-chave: Surface of temperature, TM-Landsat 5, Remote sensing, Temperatura da superfície, TM-Landsat 5, Sensoriamento remoto.

1. Introdução

O município de Maceió, capital do estado de Alagoas, nordeste do Brasil tem área aproximada de 513,55 Km², correspondendo a 1,84% do território do estado de Alagoas, com aproximadamente 198,00 Km² da área urbana (**Figura 1**). Situa-se entre as coordenadas geográficas: -9°39'57" de latitude e 35°44'07" de longitude W Gr. A temperatura na região varia entre a mínima de 19°C e a máxima absoluta de 31°C com médias anuais entre 25°C e 26,4°C. a umidade relativa é de 78%, registrando os maiores valores nos meses de abril a agosto, e o clima é quente e úmido. Os ventos sudeste, durante o ano inteiro, e nordeste, nos meses mais quentes, são os mais freqüentes na cidade de Maceió com a velocidade média de 2,8m/s. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1.700mm e conforme a série histórica os maiores índices pluviométricos são observados nos meses de maio, junho e julho.

Nas cidades, as regiões centrais são mais quentes e a periferia registra menor temperatura. Isso ocorre devido ao grande movimento de automóveis, indústrias e as residências, que lançam poluentes e aumentam assim a temperatura da localidade. Os materiais usados nas edificações e na pavimentação das ruas absorvem rapidamente o calor cuja dispersão é dificultada pela poluição. A evaporação rápida da água da chuva reduz o resfriamento e propicia o aumento da quantidade de nuvens e conseqüentemente das chuvas.

As diminuições das áreas verdes criam mudanças na atmosfera local, modificando a temperatura e as chuvas da região, bem como a direção e a velocidade dos ventos. As áreas verdes também alteram os índices de reflexão do calor e favorece a manutenção da umidade relativa do ar. Porém, pode-se dizer que a intensidade das ilhas de calor não está somente

relacionada com a diminuição destas áreas, mas, também, com o tamanho das cidades, população, geometria das ruas e dos prédios nas áreas urbanizadas ocasionando como consequência o aumento do fluxo de calor sensível da superfície da terra perto das cidades, onde o fluxo de calor sensível divide-se em dois componentes: no calor produzido pelo homem (ex: cidades industriais) e pela radiação solar (Kato e Yamaguchi, 2005).

Apesar das diferenças ambientais encontradas dentro do município de Maceió, na cidade ainda não possui uma rede de estações meteorológicas de superfície que permita uma avaliação física dos diferentes ambientes devido ao seu alto custo de aquisição e manutenção. Atualmente, encontram-se no Estado de Alagoas apenas três estações (Oliveira, 2004): uma localizada no Campus da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) numa altitude aproximada de 110m, a segunda no Aeroporto Zumbi dos Palmares com altitude de 117m e a terceira estação é a Utinga Leão, situada no município de Utinga Leão, todas distantes do centro da cidade de Maceió e próximas entre si.

A partir do sensoriamento remoto via satélite, pode-se avaliar a temperatura na superfície terrestre, T_s , que é um parâmetro relevante nos processos físicos à superfície terrestre em escala regional e global, estando envolvida no balanço de energia, evaporação e transpiração da vegetação e em processos de desertificação, podendo ser utilizada como indicador de degradação terrestre e de mudança climática.

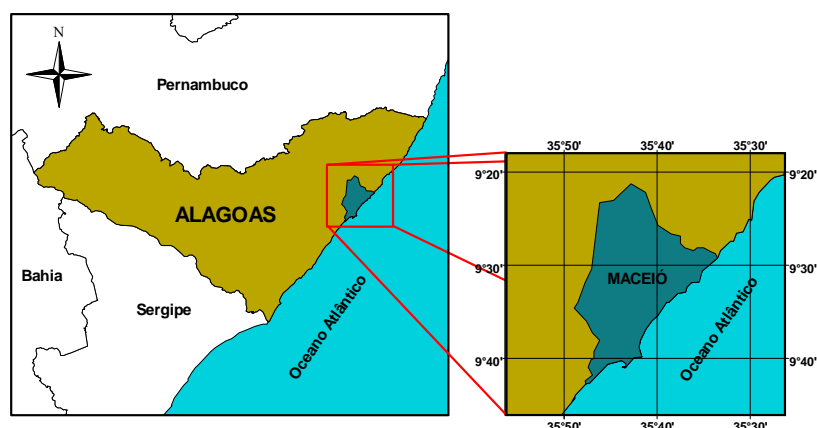


Figura 1: Localização do município de Maceió.

2. Metodologia

Foram utilizadas três imagens obtidas pelo satélite TM - Landsat 5, adquiridas pela Coordenação de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – UFAL junto ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. As imagens constam de sete bandas espectrais cada uma, conforme características apontadas na **Tabela 1**.

As imagens correspondem à passagem do satélite pelo na órbita 214 e ponto 67 nos dias e hora: 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003 as 09h30minh: As sete bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas, através do software ERDAS Imagine 8.5, que resultou no retângulo com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 36°50' Oeste e latitude 9°20' Sul), canto superior direito (longitude 35°30' Oeste e latitude 9°20' Sul), canto inferior direito (longitude 35°30' Oeste e latitude 9°45' Sul) e canto inferior esquerdo (longitude 36°50' Oeste e latitude 9°45' Sul) referentes à cidade de Maceió que é o interesse do estudo. No processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da

ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 8.5, gentilmente cedido para o desenvolvimento da pesquisa pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG através da coordenação de pós-graduação em meteorologia, tendo como resultado as imagens necessárias para a obtenção da temperatura da superfície terrestre.

Calibração radiométrica

A radiância representa 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 nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, denominada banda termal, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. O conjunto da radiância monocromática de todas as sete bandas do TM - Landsat 5, é obtida por:

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

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (**Tabela 1**), ND é a intensidade do pixel que varia de 0-255, e o índice corresponde às bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 1: descrição dos coeficientes de calibração máxima (b) e mínima (a), irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (T_{oa}) e os intervalos dos comprimentos de onda referentes às bandas do Mapeador Temático (TM).

BANDAS	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)		IRRADIÂNCIA ESPECTRAL NO TOPO DA ATMOSFERA ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45-0,52	-1,5	152,1	1957
2 (verde)	0,52-0,60	-2,8	296,8	1829
3 (vermelho)	0,63-0,69	-1,2	204,3	1557
4 (IV próximo)	0,76-0,79	-1,5	206,2	1047
5 (IV médio)	1,55-1,75	-0,37	27,19	219,3
6 (IV termal)	10,4-12,5	1,238	15,6	-
7 (IV médio)	2,08-2,35	-0,15	14,38	74,52

Reflectância

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 com a equação (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 ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);

K_{λ_i} , é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) (Tabela 01);

Z, é o ângulo zenital solar;

d_r , é o quadrado da razão entre a distância média terra-sol (r_0) e a distância terra-sol (r) em dado dia do ano (DJ), sendo obtido segundo expressão:

$$\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma$$

Onde $\Gamma = 2\pi(D - 1)/365$ (rad) e D é o dia do ano.

Albedo no topo da atmosfera

Representa o cômputo do albedo planetário (α_{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:

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

Onde, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Albedo da superfície

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

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

Onde, 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 é recomendado o uso do valor de 0,03;

τ_{sw} , é a transmissividade atmosférica que para as condições de céu claro é obtida pela equação (Allen et al., 2002):

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

Onde, z é representado pela média da altitude da cidade de Maceió.

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 utilizada a expressão (Huete,1998):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

Onde, L é uma constante de valor igual a 0,5.

Para o cálculo do índice de área foliar – IAF é necessário utilizar 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 foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al. (2002):

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

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

Emissividade

Para a obtenção da temperatura na superfície, é utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como 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 por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ε_0 (5-100 μ m). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para NDVI > 0 e IAF < 3, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (8)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF \quad (9)$$

Para pixels com IAF ≥ 3 , $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$.

Temperatura da superfície

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 expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad (10)$$

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 TM - Landsat 5 (Allen et al., 2002).

3. Resultados e discussão

Na **Tabela 2** são apontados os valores estatísticos: mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e a variância da temperatura da superfície para os dias de 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003, respectivamente, onde se percebe com mais clareza que as temperaturas mais elevadas ocorreram justamente no ano de 1998, tendo seu valor mínimo de 24,3°C, máximo de 32,2°C e média de 26,9°C seguido do ano de 2003 com temperaturas de 21,9°C o valor mínimo, de 32,4°C o máximo e de 24,9°C a média obtida e por fim as temperaturas relacionadas ao ano de 1990, naturalmente por setembro apresentar no hemisfério sul uma estação climática mais quente do que no mês de junho, que é inverno.

No ano de 1998 houve uma maior variabilidade nos valores da temperatura da superfície com relação aos outros anos como mostra os valores do desvio padrão (2,34) e da variância

(5,4756). Em 1990, fica verificado a menor discrepância de valores do desvio padrão (1,33) e da variância (1,7689).

Tabela 2: Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>	<i>Mínimo (°C)</i>	<i>Máximo (°C)</i>	<i>Média (°C)</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	22,1	29,3	24,2	23,17	1,33	1,7689
1998	24,3	32,2	26,9	24,82	2,34	5,4756
2003	21,9	32,4	24,9	23,17	1,86	3,4596

As **Figuras 2, 3 e 4** representam as imagens da temperatura da superfície (Ts) para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003. Analisando as figuras, constata-se que nas áreas com tonalidade azul escuro encontram-se as menores temperaturas, tendo seus valores inferiores a 23,8°C, as áreas com tonalidade verde representam os valores intermediários da temperatura que variam de 24°C até 27°C aproximadamente. A tonalidade avermelhada das imagens representa os valores que variam de 26,5°C a 30°C e os tons amarelos são os superiores a 29°C ou 30°C.

Nos comparativos das imagens pode-se ver entre os anos estudados que os menores valores da temperatura foram observados em 1990 e os maiores valores em 1998, podendo ser comprovado pelas médias diárias obtidas juntamente com o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e pelos dados de precipitação dos meses referentes aos anos estudados na pesquisa, que os valores médios diários para os anos de 1998 e 2003 foram de: 24,7°C e 24,1°C respectivamente. Para o ano de 1990, foram utilizadas as Normais Climatológicas entre os anos de 1961 a 1990, cedida pelo INMET cujo valor médio para o mês de junho foi de 24,3°C. os dados de precipitação confirmam esta análise, pois no mês de setembro de 1998 precipitou muito pouco se comparado ao mesmo mês no ano de 2003 como mostra a **Figura 5**. Em todas as imagens observadas, percebe-se que as maiores temperaturas estão dentro da malha urbana da cidade, sofrendo uma variação de aproximadamente 26,5°C a 32°C.

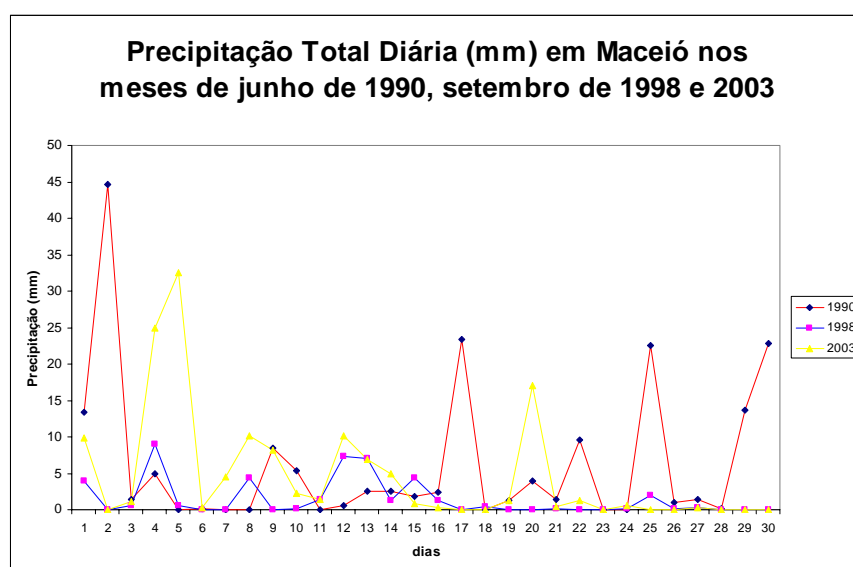


Figura 5: Dados de precipitação total diária (mm) nos meses de junho de 1990 e setembro de 1998 e 2003.

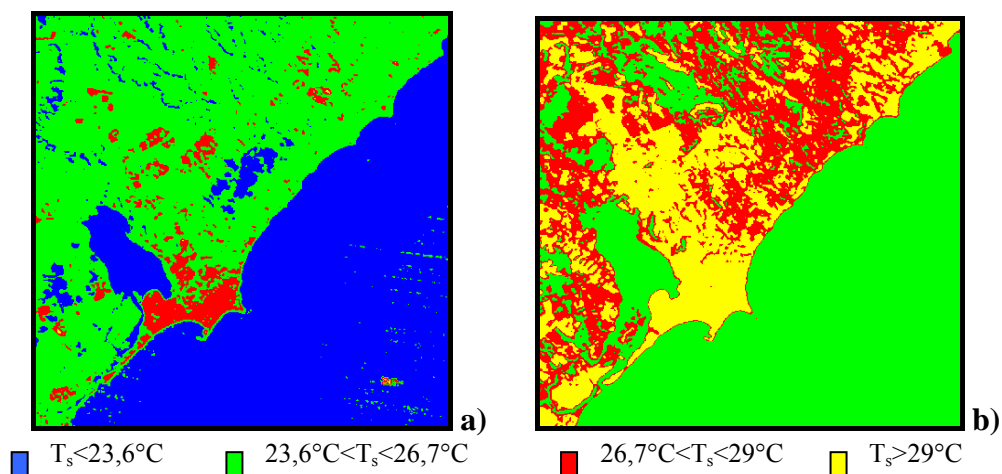


Figura 2a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

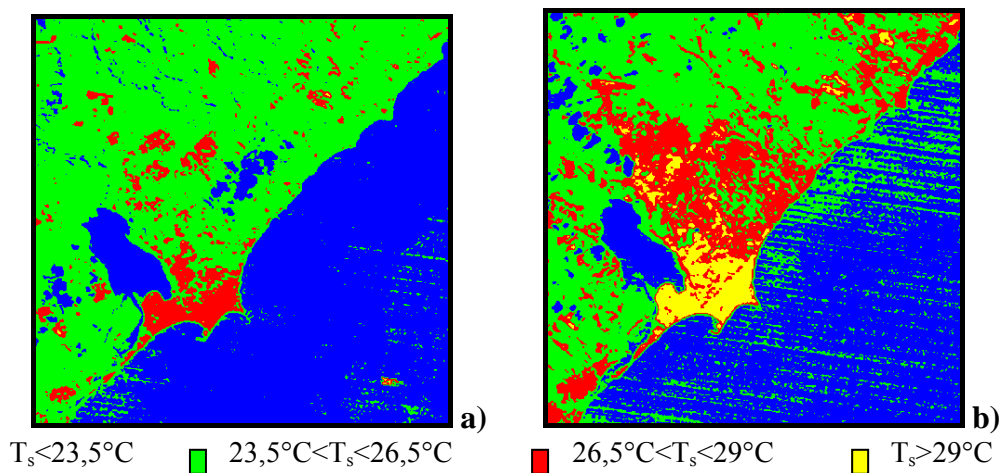


Figura 3a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 03 de setembro de 2003 (b) respectivamente.

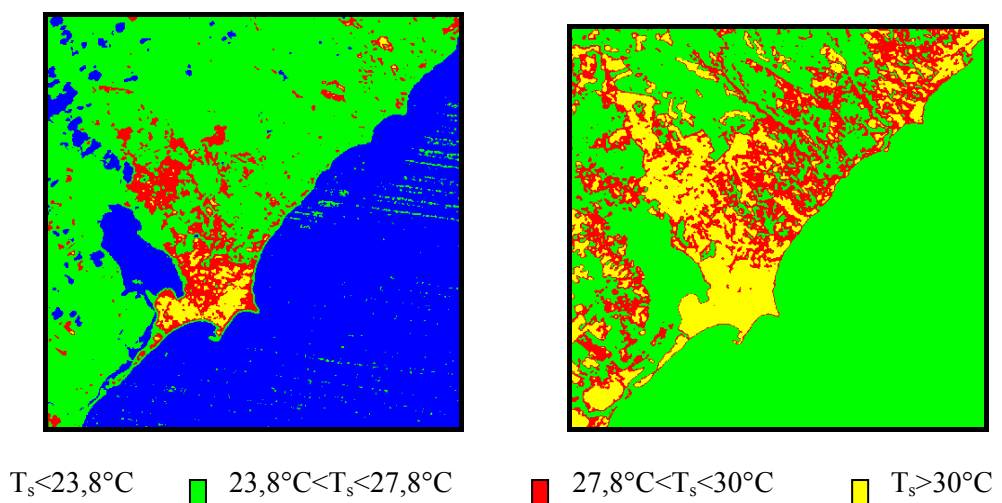


Figura 4a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 03 de setembro de 2003 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

4. Conclusões

A temperatura da superfície (Ts) apresentou os maiores valores em 1998 em comparação com os de 1990 e 2003 cuja média foi de 24,19°C em 1990, 26,96°C em 1998 e 24,90°C em 2003. Os maiores valores da temperatura da superfície em todas as imagens estudadas encontram-se dentro da malha urbana da cidade, sofrendo uma variação de aproximadamente 26,5°C a 32°C.

As regiões mais quentes da cidade observadas nas figuras estão concentradas em quase toda a parte do centro comercial de Maceió e nas regiões circunvizinhas, ou seja, onde se encontra o maior adensamento da malha urbana, exceto para o ano de 1998, onde se observa uma homogeneidade das temperaturas nos bairros, como mostram as figuras comparativas 2 e 4.

5. Referências bibliográficas

ALLEN, R.G., TASUMI, M. and TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p., 2002.

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

IQBAL. M. An Introduction to Solar Radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian. 1983.

MARKHAM, B. L. and BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, *Int. Journal of Remote Sensing*, v. 8, nº. 3 p. 517-523, 1987

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