



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estimativa do Saldo de Radiação Instantâneo na Cidade do Recife, Através de Imagens do Satélite Landsat 5 Tm

Elvis Bergue Mariz Moreira¹, Ranyére Silva Nóbrega² Bernardo Barbosa da Silva²

¹ Doutorando em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: elvisberg@hotmail.com

² Professor da Universidade Federal de Pernambuco Departamento de Ciências Geográficas, rs_nobrega@yahoo.com.br
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901 | Fone PABX: (81) 2126.8277

Artigo recebido em 30/08/2011 e aceite em 15/09/2011

RESUMO

O conhecimento do saldo de radiação em áreas urbanas é fundamental em estudos de monitoramento de mudanças climáticas e pode ser um indicador de urbanização vivenciando por uma determinada área, contudo apresenta-se no campo das pesquisas científicas pouco exploradas. O principal objetivo desse trabalho foi à obtenção do saldo de radiação instantâneo na cidade do Recife. Para tanto, foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5 referente as datas 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro 2010 na órbita e ponto 215/66. As imagens foram processadas através do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) que é baseado na irradiação medida nos canais reflectivos (1,2,3,4,5 e 6). Os resultados encontrados apontaram para as imagens em estudo, os menores valores do (Rn) nas áreas urbanas e os maiores foram encontrados nas áreas com vegetação e corpos hídricos. A cena referente ao ano de 2006 apresentou na área urbana valores de (Rn) inferiores a 692 Wm^{-2} , enquanto o ano de 2010 apresentou 730 Wm^{-2} . De modo geral, os maiores valores de (Rn) foram encontrados na imagem de 2010, tal aumento pode está associado a sazonalidade da radiação solar.

Palavras chaves: radiação solar, sensoriamento remoto, algoritmo sebal

Estimation of Instantaneous Radiation Balance in City of Recife, Via Satellite Images Landsat 5 Tm

ABSTRACT

Knowledge of the radiation balance in urban areas is essential in monitoring studies of climate change and can be an indicator of urban living for a certain area, but has in the field of scientific research unexplored. The main objective of this work was to obtain the instantaneous net radiation in the city of Recife. Therefore, we used two images from Landsat Thematic Mapper 5 for the dates August 26, 2006 and September 6, 2010 point in the orbit and 215/66. The images were processed through the algorithm SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) which is based on irradiation as reflective channels (1,2,3,4,5 and 6). The results pointed to the images under study, the lowest values of (Rn) in urban areas and the largest were found in areas with vegetation and water bodies. The scene for the year 2006 presented in the urban area values (Rn) of less than 692 Wm^{-2} , while the year 2010 showed 730 Wm^{-2} . In general, the highest values of (Rn) were found in the image of 2010, this increase is associated with can sazonalidade solar radiation.

Keywords: solar radiation, remote sensing, algorithm sebal

1. Introdução

O intenso e crescente processo de urbanização vivenciado no Brasil nas últimas décadas tem acarretado diversas

consequências de ordem ambiental. Tal crescimento populacional somado as densas transformações nos ambientes naturais, com a substituição de áreas vegetadas por concreto, vem contribuindo para a alteração das trocas

* E-mail para correspondência: elvisberg@hotmail.com (Moreira, E. B. M.).

de energia entre superfície e atmosfera, favorecendo assim a formação de um clima urbano. A cidade do Recife está inserida nesse contexto, apresentando-se com sua superfície com alto índice de impermeabilização e diversos padrões de reletividade e absorção de energia incidente.

O conhecimento do saldo de radiação em áreas urbanas é fundamental em estudos de monitoramento de mudanças climáticas e pode ser um indicador de urbanização vivenciando por uma determinada área, contudo apresenta-se no campo das pesquisas científicas pouco exploradas. Em virtude das superfícies urbanas apresentarem-se bastante heterogênea com diversos materiais que apresentam capacidade de absorção e reflexão de radiação solar, tais estudos necessitam de um conhecimento apurado da estrutura estudada e a distribuição desses elementos para obtenção de bons resultados.

O saldo de radiação depende fortemente do fluxo de radiação solar e em geral é positivo durante o dia (representando uma entrada maior do que a saída de energia, com o aquecimento do sistema solo-planta-atmosfera) e negativo à noite. Considerando a integração diária, usualmente o saldo de radiação é positivo (Allen et al., 2002).

Nos últimos anos diversos algoritmos têm sido propostos para a análise da cobertura do solo e determinação do balanço de energia à superfície. O algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm of Land), tem sido utilizado em diferentes países e

produzido resultados satisfatórios nas estimativas de saldo de radiação e gerenciamento de recursos hídricos (Bastiaanssen, 2000; Granger, 2000). Diversos trabalhos têm sido realizados para o computo do balanço de radiação e energia a superfície, através de métodos tradicionais e sensoriamento remoto (Lopes, 1999; Bastiaanssen, 2000; Silva et al., 2005; Di Pace et al., 2008; Mendonça et al., 2009; Furlan et al., 2011).

Silva et al. (2011), fizeram uso do modelo SEBAL para o cálculo do saldo de radiação na área urbana de Fortaleza CE, nos anos de 1988 e 2007. Os valores encontrados de R_n mínimo e máximo foram, respectivamente, de 204,35 e 724,5 $W m^{-2}$ para 1988, enquanto para 2007 eles foram 210,16 e 763,11 $W m^{-2}$.

Diante do exposto, se objetiva nesse trabalho, estimar o saldo de radiação instantâneo na cidade do Recife, utilizando-se do algoritmo SEBAL e imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 TM.

2 Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O objeto do estudo é a área urbana da cidade do Recife (Figura 1), capital do estado de Pernambuco, localizada no litoral leste do Nordeste brasileiro compreendendo uma área de 218km². Conforme dados do IBGE/2007, apresenta uma população de 1,55 milhão de habitantes e 3,73 milhões em toda área metropolitana, apresentando-se com a maior

população do nordeste e sendo a quinta maior do Brasil. O clima da cidade é caracterizado por ser quente e úmido (AS^o) com chuvas de outono a inverno, seguindo a classificação de Koppen. A região estudada, por estar situada em Zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25°C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes com temperaturas superiores a

26°C. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24°C. A umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais de 84% (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET). A Figura 2 corresponde às temperaturas do ar registradas pela PCD (Plataforma de coleta de dados) Recife, referente às datas 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010.

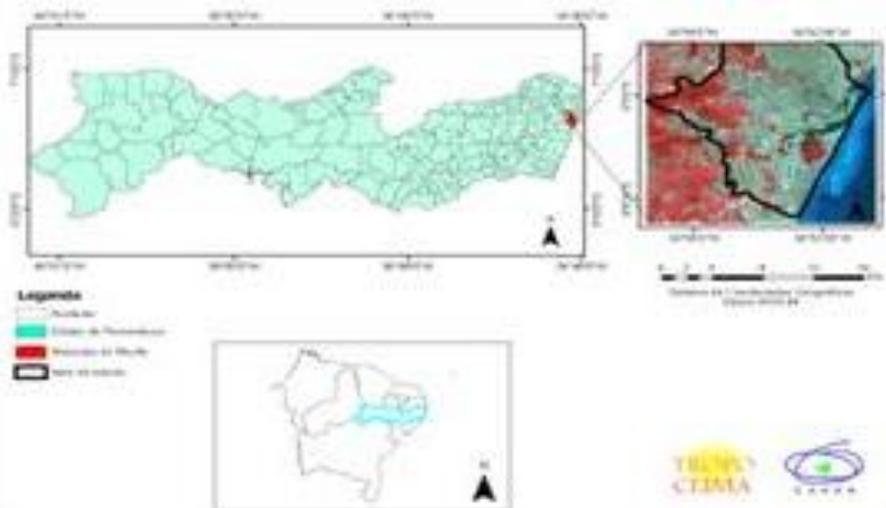


Figura 1. Localização da área em estudo destacando a cidade do Recife.

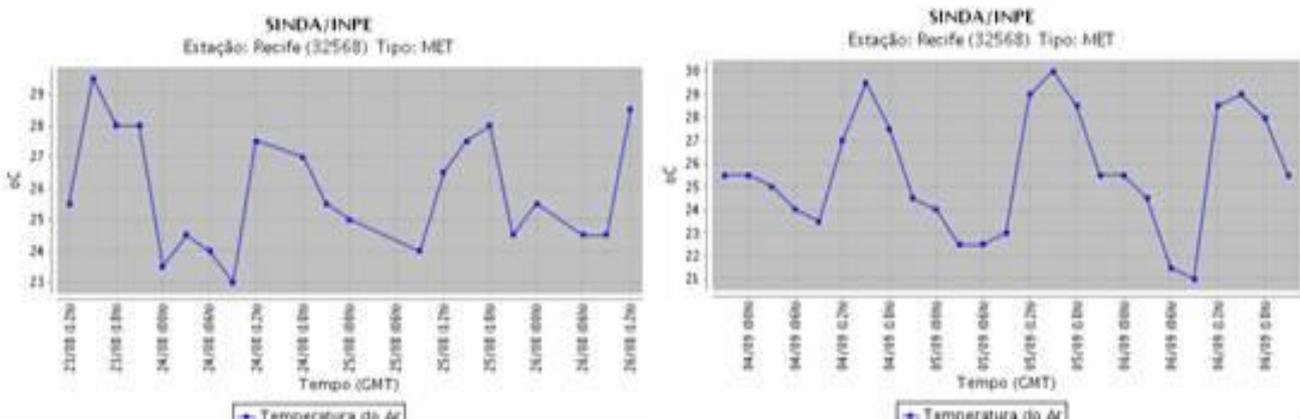


Figura 2. Temperatura do ar em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010, respectivamente (Fonte INPE/CPTEC).

Neste estudo foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5, composta por sete bandas espectrais, cujas características são

apresentadas na Tabela 1, obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A passagem do satélite pela área em estudo ocorreu às 10:00h, nos dias 26 de

agosto de 2006 (Dia Juliano = 238) , e para o dia 06 de setembro 2010 (Dia Juliano = 249) representados na Figura 3, na órbita e ponto 215/66.

Para o pré-processamento das imagens de satélite e aplicação dos índices escolhidos foi utilizado o programa Erdas Imagine 9.3

(licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE). A montagem final do layout foi feito no programa ArcGIS 9.3 (licença do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE).



Figura 3. Imagem TM/Landsat 5 na composição (RGB432) referente a área de estudo nas datas 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

Foi empregado o Algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvido por Win Bastiaanssen (1995), o qual tem sido utilizado em diferentes países. A metodologia empregada seguiu Silva et al. (2005) e Bastiaanssen (2000), a qual consiste em:

Etapa 1 (Calibração radiométrica)

Para dar sustentáculo aos modelos utilizados, foram obtidas estimativas da radiação solar incidente sobre a área estudada, bem como da radiação de onda longa emitida pela atmosfera, na direção da superfície. Uma vez escolhida a área de estudo e processado o seu recorte, efetuou-se a Calibração

radiométrica, processo de conversão do Número digital - ND de cada pixel da imagem, em Radiância espectral monocromática, $L_{\lambda i}$, segundo relação proposta por Markham & Baker (1987)

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

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.

Etapa 2 (Reflectância espectral)

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):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (02)$$

Em que L_{λ_i} , é a irradiância 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 ($Wm^2 \mu m^{-1}$); 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 cada dia do ano.

Tabela 01: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima – a, e máxima b) e irradiância espectral no topo da atmosfera (K_{λ_i}), Markham & Baker (1987):

Descrição dos canais	Comprimento de onda (μm)	Coefficientes de calibração ($W m^2 sr^{-1} \mu m^{-1}$)	K $W m^2 \mu m^{-1}$
Banda 1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52 152,1	1957
Banda 2 (verde)	0,53 - 0,61	-2,84 296,81	1829
Banda 3 (vermelho)	0,62 - 0,69	-1,17 204,3	1557
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78 - 0,90	-1,51 206,2	1047
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57- 1,78	-0,37 27,19	219,3
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4 - 12,5	1,2378 15,303	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10 - 2,35	-0,15 14,38	74,52

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.

$$\alpha_{toa} = 0,293 \rho_1 + 0,274 \rho_2 + 0,233 \rho_3 + 0,157 \rho_4 + 0,033 \rho_5 + 0,011 \rho_7 \tau_{sw} \quad (03)$$

Onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são as

reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4,5 e 7.

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:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{2} \quad (04)$$

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 (Allen et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (05)$$

Para o calculo de z foi utilizada a SRTM da cidade do Recife.

Etapa 5 (Índices de vegetação: IVDN, SAVI e IAF)

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

O Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) foi obtido pela razão da diferença da banda do vermelho com a banda do infravermelho próximo pela soma da mesma de acordo com a Equação 3 de (Huete, 1988):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (06)$$

Onde ρ_V é a banda do vermelho ρ_{IV} é a banda do infravermelho próximo

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 expressão (Huete, 1998.)

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (07)$$

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

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 empírica obtida por Allen et al., (2002), conforme a equação (08):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (08)$$

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

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 (5-100 μ m). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para NDVI>0 e IAF <3, segundo:

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (09)$$

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \text{ IAF}$$

Para pixels com $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$

Etapa 7 (Temperatura da superfície)

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

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

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 Landsat - 7 (Allen et al., 2002.; Silva., 2005).

Etapa 8 (Radiação de onda longa emitida)

A radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_L \uparrow$) foi obtida através da equação de Stefan-Boltzman, conforme (Bastiaanssen, 1995; Allen et al., 2002):

$$R_L = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (11)$$

Onde ε_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Etapa 9 (Radiação de onda curta incidente)

Para o cálculo da radiação de onda curta incidente ($R_S \downarrow$) utilizou-se a equação proposta por (Bastiaanssen, 1995; Morse et al., 2001;

Alen et al., 2002., Silva et al., 2005):

$$R_S \downarrow = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (12)$$

Onde S é a constante solar (1367 Wm^{-2}), Z é o ângulo zenital solar, d_r é o quadrado da distância relativa Terra-Sol, e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica.

Etapa 10 (Radiação de onda longa incidente)

A radiação de onda longa incidente ($R_L \downarrow$) foi calculada através da equação de Stefan- Boltzman:

$$R_L \downarrow = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (13)$$

Onde ε_a é a transmissividade atmosférica obtida por: $\varepsilon_a = 0,85 \cdot (- \ln \tau_{sw})^{0,265}$, σ é a constante de Stefan- Boltzman, T_a é a temperatura do ar (Kelvin).

Etapa 11 (Saldo de radiação)

O saldo de radiação instantâneo à superfície foi obtido através da expressão (Bastiaanssen, 1995; Morse et al., 2001; Allen et al., 2002; Silva et al., 2002):

$$R_n = R_S \downarrow (1 - \alpha) + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \varepsilon_0) R_L \downarrow \quad (14)$$

Em que $R_S \downarrow$ corresponde a radiação de onda curta incidente, α é o albedo corrigido de cada pixel, $R_L \downarrow$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_L \uparrow$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_0 é a emissividade de cada pixel. As densidades dos fluxos são expressas em W m^{-2} .

3. Resultados e Discussão

A Figura 4 apresenta o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), para os dias 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente. A média encontrada em toda cena de 2006 foi de 0,31 enquanto no ano de 2010 o valor foi de 0,36. Analisando a distribuição dos valores encontrados na imagem, observou-se na cor azul os menores índices do NDVI ($< 0,05$) destacados nos corpos hídricos, os tons laranja e amarelo apresentaram intervalos entre 0,05 e 0,36, com maior predominância

na mancha urbana, o verde claro com valores entre 0,36 e 0,50 e o tom verde escuro apresentou os maiores valores ($> 0,50$), localizados nas áreas onde há maior concentração de vegetação, sobretudo no manguezal do Pina e nos fragmentos de mata atlântica. De acordo com os valores obtidos foi possível constatar um sensível aumento na média do NDVI, caracterizando um aumento da cobertura vegetal, podendo ser observado na substituição do tom laranja na imagem de 2006 pelo tom amarelo representados na imagem de 2010.

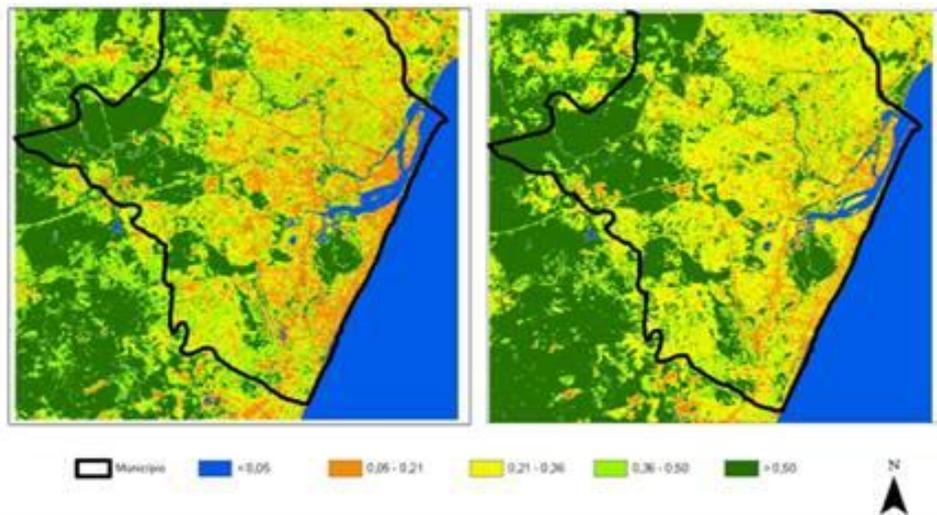


Figura 4. NDVI em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

Os valores encontrados nas imagens do albedo da superfície Figura 5, para as datas em estudo, apontaram a tonalidade azul com os menores valores ($< 0,07$), a cor verde com intervalos entre 0,07 e 0,11, o amarelo com valores intermediários entre 0,11 e 0,14 os tons laranja e vermelho com os maiores valores 0,14 , 0,21 e ($> 0,21$) respectivamente. Os maiores valores do albedo na cenas em estudo foram encontrados nas áreas onde há o predomínio de superfícies compostas por

concreto, sobretudo nos centros urbanos onde os materiais utilizados na construção civil, como edificações de cor branca e telhado de folhas de amianto, refletem a maior parte da radiação incidente tornando altos os valores de albedo (Moreira, 2009). Os menores valores destacaram-se nas áreas com vegetação e nas superfícies líquidas. De modo geral, percebe que os maiores valores predominaram na imagem de 2001.

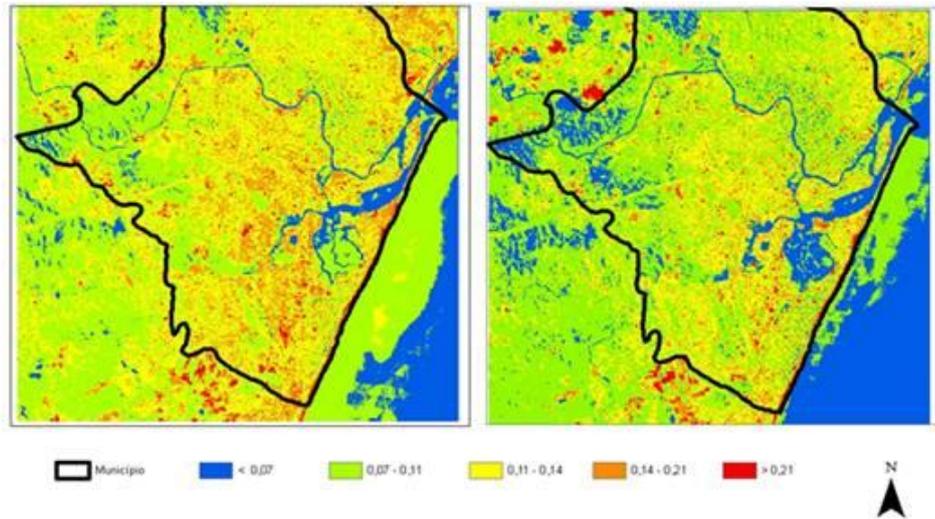


Figura 5. Albedo da superfície em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

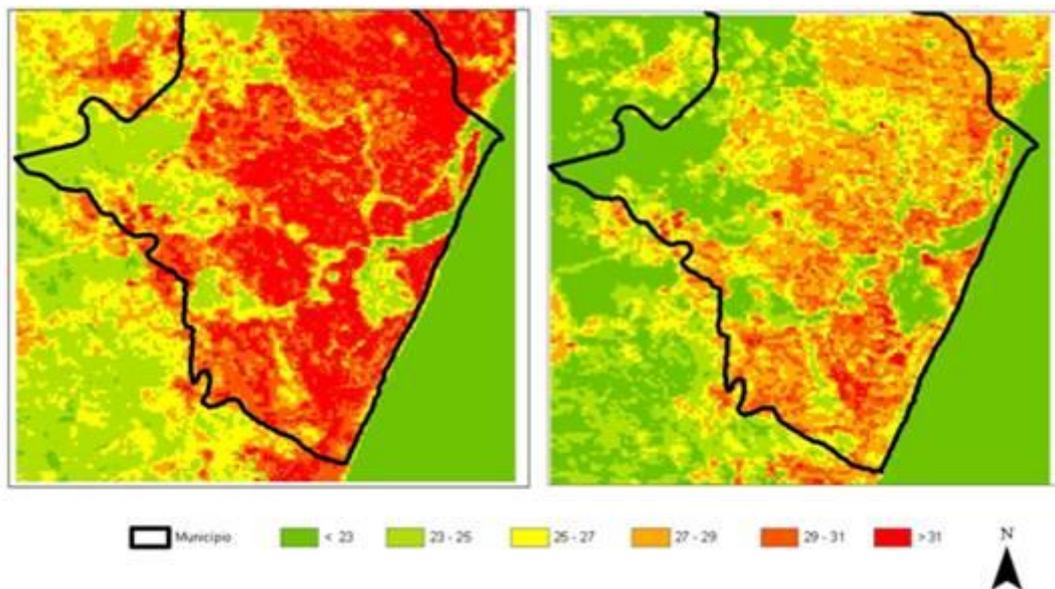


Figura 6. Temperatura da superfície em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial das temperaturas da superfície para os anos em estudo. Os valores encontrados, durante o período estudado, apontaram o ano de 2010 com as menores temperaturas. Em 2006 os valores de temperatura variaram entre 21°C para o valor mínimo e 33°C para o máximo, em 2010 entre 19°C e 30°C respectivamente. Na imagem de temperatura abaixo, os menores valores foram encontrados

no tom verde escuro (< 23°C) e verde claro com intervalos entre 23°C 25°C respectivamente, ambos representados pelos corpos hídricos e vegetação, o tons amarelo e laranja apresentaram valores intermediários entre 25°C e 29°C, os tom laranja apresentou valores entre 29°C e 31°C e o tom vermelho evidenciou as maiores temperaturas (> 31°C). Os maiores valores de temperaturas estão localizados nas áreas onde há um predomínio

do solo impermeabilizado, proporcionando com isto o aprisionamento da energia incidente e contribuindo desta feita para o surgimento das ilhas energéticas de calor. Visualmente percebe-se que os maiores valores 31°C destacaram-se com maior intensidade na imagem de 2006, sobretudo em toda mancha urbana. Na imagem de 2010 o tom vermelho é substituído gradativamente pelos tons laranja e amarelo que apresentam valores menores de temperatura se comparado com o vermelho. Essa redução de temperatura

da superfície está de acordo com a temperatura do ar registrada pela PCD (Platatforma de coleta de dados) Recife, no dia e hora da passagem do satélite 22°C às 10:00h.

A Figura 7 apresenta as imagens da radiação de onda curta incidente, para os anos em estudo. Em 2006 os valores mínimo e máximo foram 845,46 Wm⁻² e 848,36 Wm⁻² respectivamente, enquanto em 2010 variaram entre 863,15 Wm⁻² e 866,19 Wm⁻²

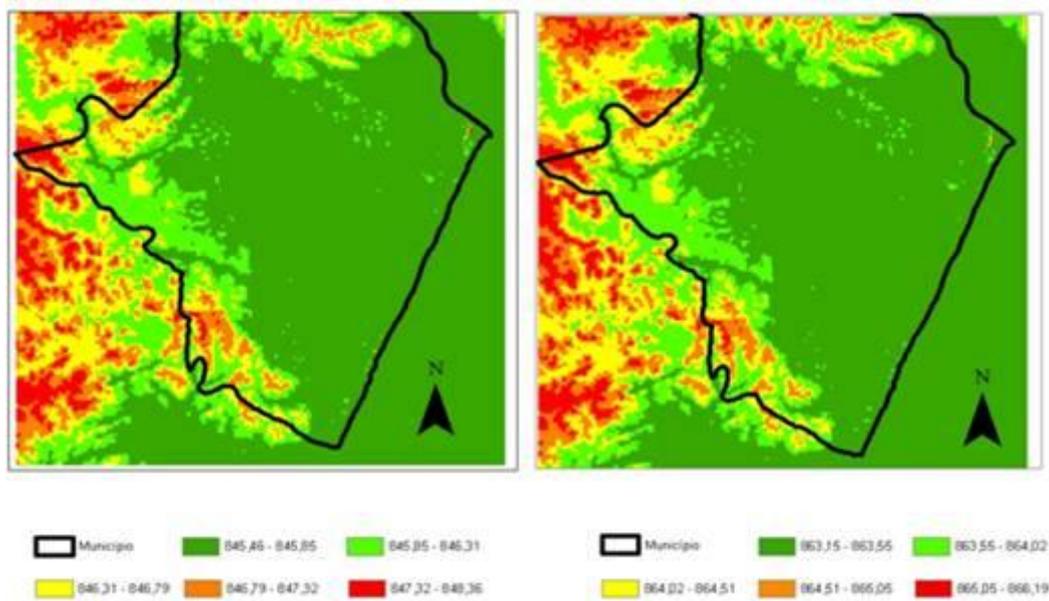


Figura 7. Radiação de onda curta incidente em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

A radiação de ondas longas emitida, par as cenas em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente, Figura 8, mostram os menores valores destacados pela cor verde limão com valores entre 350 Wm⁻² e 430 Wm⁻² presentes nas superfícies líquidas e vegetação, enquanto os maiores valores foram representados tom vermelho, com intervalos entre 465 Wm⁻² e 480 Wm⁻², enfatizados com

maior representatividade na imagem de 2006, sobretudo na mancha urbana. Em virtude dessas áreas apresentarem um alto albedo há uma menor absorção de onda curta e por conseguinte uma maior emissão de ondas longas. Em geral, na análise comparativa das cenas nas datas analisadas, nota-se que os menores valores foram apresentados na imagem de 2010.

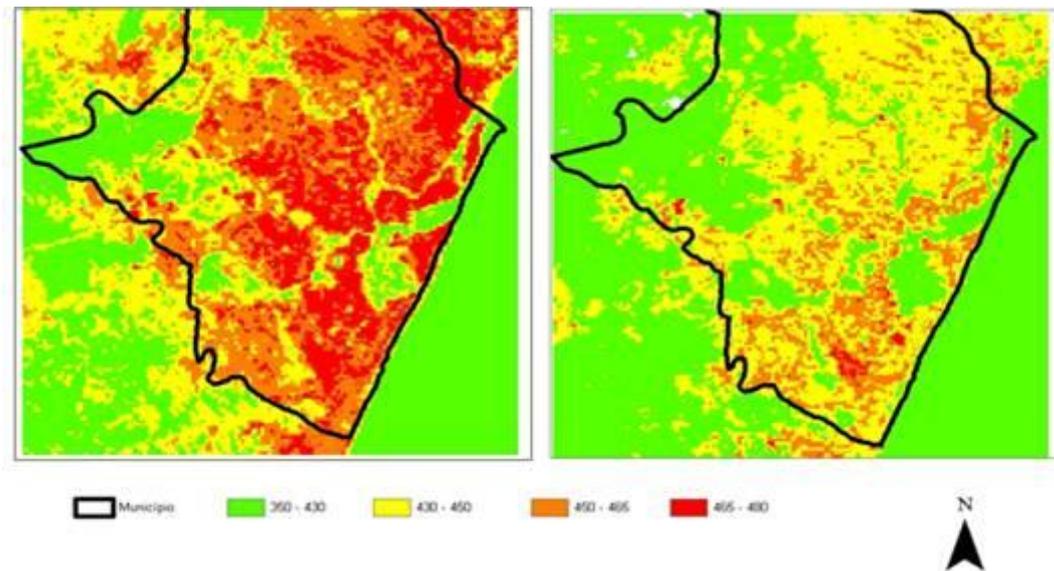


Figura 8. Radiação de onda longa emitida em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente.

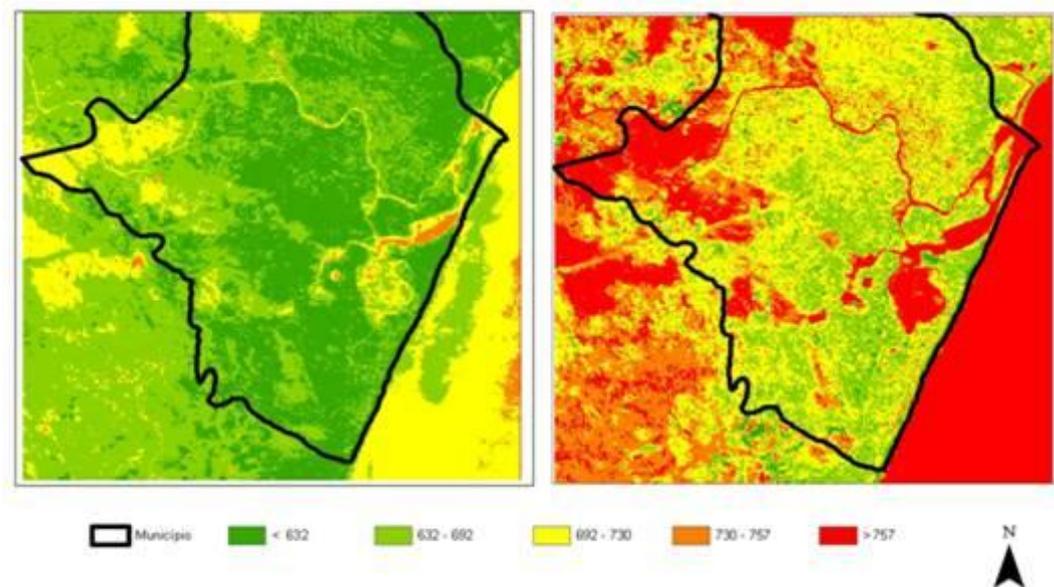


Figura 9. Imagem do saldo de radiação a superfície em 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010.

A Figura 09, tem-se o saldo de radiação à superfície (R_n) para as cenas nas datas 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010 respectivamente. Os menores valores de (R_n) estão representados na cor verde ($< 632 \text{ Wm}^{-2}$), o verde claro com valores entre 632 Wm^{-2} e 692 Wm^{-2} , o tom amarelo com intervalos entre 692 Wm^{-2} e 730 Wm^{-2} , o

laranja com intervalos entre 730 Wm^{-2} e 757 Wm^{-2} e o tom vermelho apresentou os maiores valores ($> 755,03 \text{ Wm}^{-2}$). O (R_n) apresentado na cena do dia 26 de agosto de 2006 foi superior ao da cena de 06 de setembro de 2010. Os menores valores de (R_n) nas cenas em estudo foram encontrados na mancha urbana, sobretudo onde há o

predomínio de superfícies impermeabilizadas com concreto, fazendo com que haja uma alta refletividade de radiação de onda longa emitida e por conseguinte baixos valores de (Rn). A imagem de 2006 apresentou na área urbana valores inferiores a 632 Wm^{-2} , destacados nas cores verde claro e verde escuro, na imagem de 2010 os valores encontrados apresentaram intervalos entre 632 Wm^{-2} a 730 Wm^{-2} nas cores verde claro e amarelo. Os maiores valores de (Rn) foram encontrados nas áreas com vegetação e corpos hídricos, isso devido a alta absorção de radiação de onda curta incidente e a baixa refletividade. De modo geral, pode-se atribuir o aumento do (Rn) encontrado na cena de 2010, a sazonalidade da radiação solar e/ou a estação climática predominante no dia da passagem do satélite para a área em estudo.

4. Conclusão

Os produtos gerados pelo sensoriamento remoto através das imagens do satélite Landsat 5 TM se mostraram eficientes no cômputo dos valores das componentes do balanço da radiação. Os maiores valores do saldo de radiação instantâneo (Rn) nas cenas estudadas foram encontrados nas áreas com vegetação e os menores nas áreas urbanas. A imagem de 2010 apontou os maiores valores de (Rn), tal aumento pode está associado com a sazonalidade da radiação solar, considerando que os resultados encontrados nas cartas de radiação de onda curta foram maiores e os de onda longa emitida foram

menores para o referido ano.

5. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor, INPE/CPTEC/ INMET pelos dados fornecidos.

6. Referências

- Allen, R. G., Tasumi, M. Terezza. R. (2002). Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User Manual – Idaho Implementation, version 1.0.
- Bastiaanssen, W. G. M. (1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph,D Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 273p.
- Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, v.229, p.87-100.
- Di Pace, F. T.; Silva, B. B.; Silva, V. P. R.; Silva, S. T. A. (2008). Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.4, p.385-392.
- Furlan, N. D.; Ballester, M. V. R.; Andrade, R. G. (2011). Estimativa dos valores de saldo de radiação e fluxo de calor no solo em diferentes condições antrópicas na bacia do

rio Ji-Paraná, Rondônia. . In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba - PR, Brasil. Anais... São José dos Campos - SP: INPE, 2011. p. 6301 – 6308.

Granger, R. J. (2000). Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. *Journal of Hydrology*, v.229, p.70-76.

Huete, A. R. (1998). A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295-309.

Markham, B. L., J. L. (1987). Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n.3, p. 517-523.

Mendonça, J. C.; André, R.G.B.; Sousa, E. F.; Silva, B. B. (2009). Aplicação do algoritmo SEBAL e imagens MODIS para estimativa do fluxo do calor do solo (G) na região Norte Fluminense, RJ, Brasil. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal – RN. Anais... São José do Campos - SP: INPE, p. 293-299.

Moreira, E. B. M. (2009). Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife. 98 F. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia. Recife/PE.

Morse, A.; Tasumi, M.; Allen, R. G.; Kramber, W. J. (2001). 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. Boise: Department of Water Resources/University of Idaho, 98p.

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

Silva, B. B., Feitosa, J. R., Moura, S. B., Galvêncio, J. D. Costa, F. J. F. (2002). Balanço de radiação no Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat 5-TM. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA XII, 2002 Foz do Iguaçu. Anais..., Sociedade Brasileira de Meteorologia, CD-ROM.

Silva, M. T.; Mariano, E. B.; Paula, R. K.; Oliveira Silva, P. K. (2009). Balanço de radiação à superfície na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal – RN. Anais... São José do Campos - SP: INPE, p. 1031-1038.

Silva, M. T.; Silva, R. V.; Costa, S. C. E. (2011). Impactos da urbanização na temperatura e no balanço de radiação à superfície no município de Fortaleza-CE com base em imagens espectrais do TM/Landsat 5. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba - PR, Brasil. Anais... São José dos Campos – SP: INPE, 2011. p. 0917 - 0924.