

## Mapeamento de componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de uso e ocupação do solo no semiárido paraibano

Alexandro Medeiros Silva<sup>1</sup>  
Richarde Marques da Silva<sup>2</sup>

Universidade Federal da Paraíba - UFPB/CCEN  
medeiros\_alexandro@hotmail.com<sup>1</sup>  
richarde@geociencias.ufpb.br<sup>2</sup>

### Abstract

A spatial analysis of biophysical parameters from remote sensing has been possible to assess environmental impacts of changes in land use and land cover. This study aimed to map various components of the radiation net at the surface using satellite images for São João do Cariri Experimental Basin, located in semiarid region of Paraíba State. Image classification techniques and SEBAL algorithm were used. This study used two satellite images of the semiarid region, all of them captured by the TM sensor of the Landsat 5 satellite of 17/12/2004 and 28/10/2009. The results showed that surface temperature values ranged between 21°C to 43°C, the net radiation ( $R_n$ ) ranged from 635.3 W/m<sup>2</sup> in 17/12/2004 and 817.8 W/m<sup>2</sup> on 28/10/2009, the Soil Heat Flux (G) ranged between 71,8 W/m<sup>2</sup> to 245,6 W/m<sup>2</sup> in 17/12/2004 and 91,4–303,9 W/m<sup>2</sup> on 28/10/2009. The highest values of surface temperature were found in areas of bare soil. Already the highest values of net radiation were found in areas of shrubland. It is concluded that the methodology used in the determination of net radiation and surface temperature in the selected area, achieved very consistent values, showing a satisfactory methodology. The algorithm SEBAL determined, satisfactorily the values of these parameters on study area, with observations made in the field.

**Keywords:** land use, semiarid, temperature, net radiation.

### 1 - Introdução

O sensoriamento remoto permite o monitoramento ambiental e a determinação de parâmetros biofísicos e componentes do balanço de radiação sobre a superfície da Terra (Leite e Brito, 2012). A obtenção de informações climatológicas por meio de imagens orbitais propicia a análise de amplas áreas da superfície terrestre quando comparadas à coleta de dados pontuais disponibilizados por estações climatológicas, sobretudo em regiões com escassez de dados climatológicos, como é o caso da porção semiárida do Nordeste do Brasil.

Atualmente, diversos sensores a bordo de satélites ambientais, a exemplo do Thematic Mapper - Landsat 5, AVHRR – NOAA, MODIS – Terra/Aqua, dentre outros, medem a radiação solar refletida e/ou emitida por alvos à superfície, o que propicia o cálculo de sua refletividade em diferentes faixas do espectro eletromagnético e possibilita a determinação de importantes parâmetros biofísicos da superfície, como saldo de radiação, temperatura da superfície, albedo e fluxo de calor do solo (Gomes et al., 2009), importantes variáveis para o conhecimento do comportamento da transferência de calor sobre a superfície terrestre.

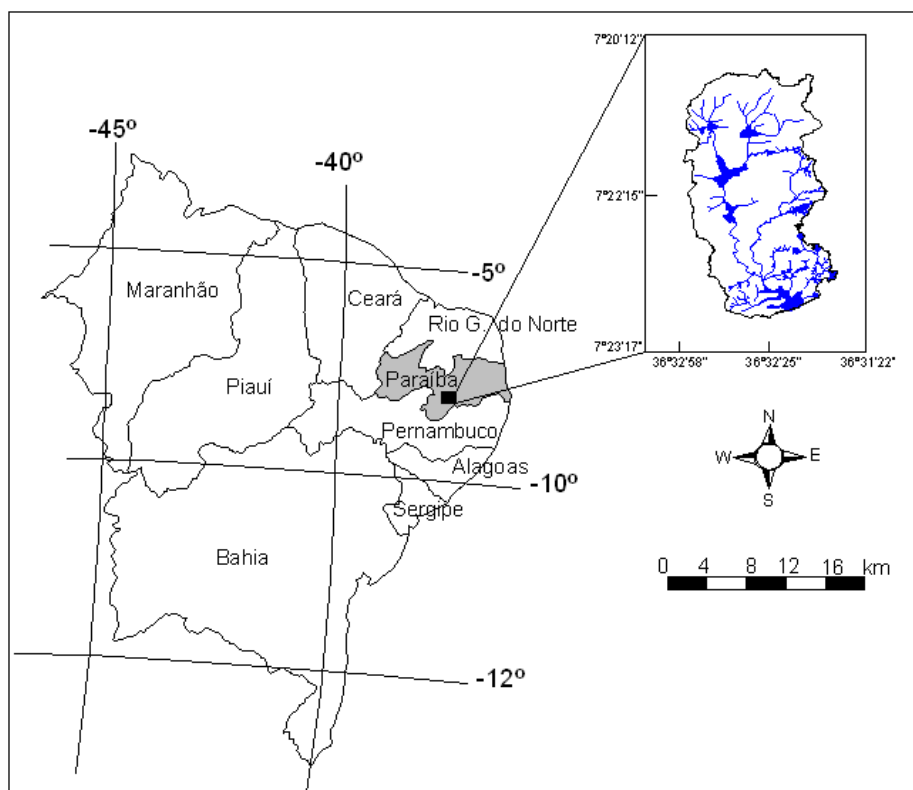
Dentre os algoritmos que utilizam imagens de satélites, o mais utilizado em todo o planeta é o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), proposto por Bastiaanssen et al. (1998). Esse algoritmo tem sido aplicado e validado em diversos países, como Estados Unidos, China, Egito, Espanha, Argentina, Índia, Brasil, entre outros, conforme apresentado nos estudos de Bastiaanssen (2000), Tasumi (2003). No Brasil, podem ser destacados os trabalhos de Bezerra et al. (2008), Silva et al. (2011), Teixeira et al. (2009).

Entretanto, o conhecimento do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo em diferentes tipos de uso e ocupação do solo no bioma caatinga ainda são pouco conhecidos, sobretudo na porção semiárida do estado da Paraíba (Silans e Silva, 2007). Nesse sentido, este estudo objetivou determinar os principais componentes do balanço de radiação e o fluxo de calor no solo, mediante o algoritmo SEBAL, em diferentes usos do solo no semiárido paraibano.

### 2 - Materiais e Métodos

## 2.1 - Caracterização da área de estudo

A Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) possui uma área de aproximadamente 13,5 km<sup>2</sup> e está localizada entre as coordenadas 36° 31' 01" E a 36° 33' 32" E e 7° 20' 27" S a 7° 23' 24" S . (Figura 1). Esta bacia está inserida no bioma Caatinga, na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da região é do tipo BSh (semiárido), caracterizado por insuficiência e irregularidade das precipitações pluviiais e ocorrência de temperaturas elevadas. A temperatura ao longo do ano varia entre 24 °C (mínima) no mês de junho e 29 °C (máxima) nos meses de setembro a janeiro, e a umidade relativa média anual é de aproximadamente 57% (Santos et al., 2007).



**Figura 1.** Localização geográfica da Bacia Experimental de São João do Cariri.

## 2.2 - Mapeamentos dos diferentes tipos de cobertura do solo

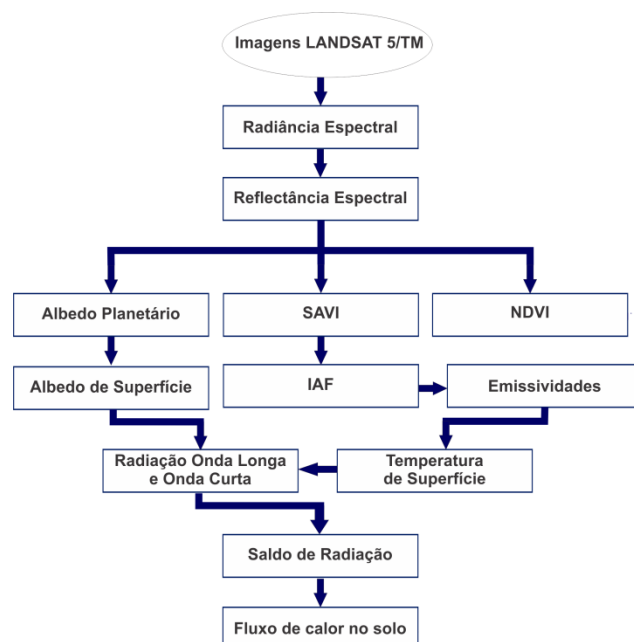
Neste estudo foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do satélite LANDSAT 5-TM, da órbita 215 e ponto 65, com passagem do satélite nos dias 17/12/2004 e 28/10/2009, respectivamente nos horários de 9h 25min 28s e 9h 20min 58s, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As duas cenas utilizadas são referentes ao mesmo período climático, tendo em vista a minimização dos fatores climáticos no comportamento da vegetação e nos parâmetros biofísico.

A classificação do uso e ocupação do solo foi realizada no *software* SPRING 5.2.3. As imagens das duas cenas foram empilhadas e aplicadas a composição colorida 3(R), 4(G) e 2(B). Em seguida, as imagens foram classificadas pelo método de classificação não-supervisionado usando o classificador de imagens K-Médias.

## 2.3 – Determinação do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo

Para a determinação dos diferentes componentes do balanço de radiação e do fluxo de calor no solo nos diferentes tipos de cobertura do solo da área de estudo, foi utilizado o *Surface Energy*

*Balances Algorithm for Land* (SEBAL). O SEBAL é um algoritmo desenvolvido para a estimativa da evapotranspiração de grandes áreas, que utiliza imagens de satélites na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, e poucos dados meteorológicos complementares (Bastiaanssen et al., 1998). As diferentes etapas empregadas na obtenção do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo estão representadas na Figura 3.



**Figura 3.** Etapas utilizadas para determinação do saldo de radiação.

O saldo de radiação a superfície pode ser determinado por meio da seguinte expressão (Allen et al., 2007; Silva et al., 2011):

$$R_n = R_{sol,inc} (1 - \alpha_{sup}) - R_{ol,emit} + R_{ol,atm} - (1 - \epsilon_o)R_{ol,atm} \quad (1)$$

em que  $R_{sol,inc}$  ( $W/m^2$ ) representa a radiação solar global instantânea,  $\alpha_{sup}$  o albedo de cada pixel da superfície,  $R_{ol,emit}$  ( $W/m^2$ ) a radiação do onda longa emitida por cada pixel,  $R_{ol,atm}$  ( $W/m^2$ ) representa a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície (considerada constante na área de estudo) e  $\epsilon_o$  é a emissividade de cada pixel.

O fluxo de calor no solo  $G$  ( $W/m^2$ ) foi estimado com base em equação desenvolvida por Bastiaanssen (2000), que representa valores próximos ao meio-dia:

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (2)$$

no qual  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  é o albedo da superfície, NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada e o  $R_n$  é o saldo de radiação.

A temperatura da superfície, que depende da radiância espectral da banda termal do TM –  $L_{\lambda 6}$  ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) e de sua emissividade ( $\epsilon_{NB}$ ), sendo obtida pela equação de Planck invertida (Markham e Barker, 1986):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1 \right)} \quad (3)$$

em que  $K_1$  ( $607,76 W/m^2/sr/\mu m$ ) e  $K_2$  ( $1260,56 K$ ) são constantes de radiação específicas da banda termal do TM.

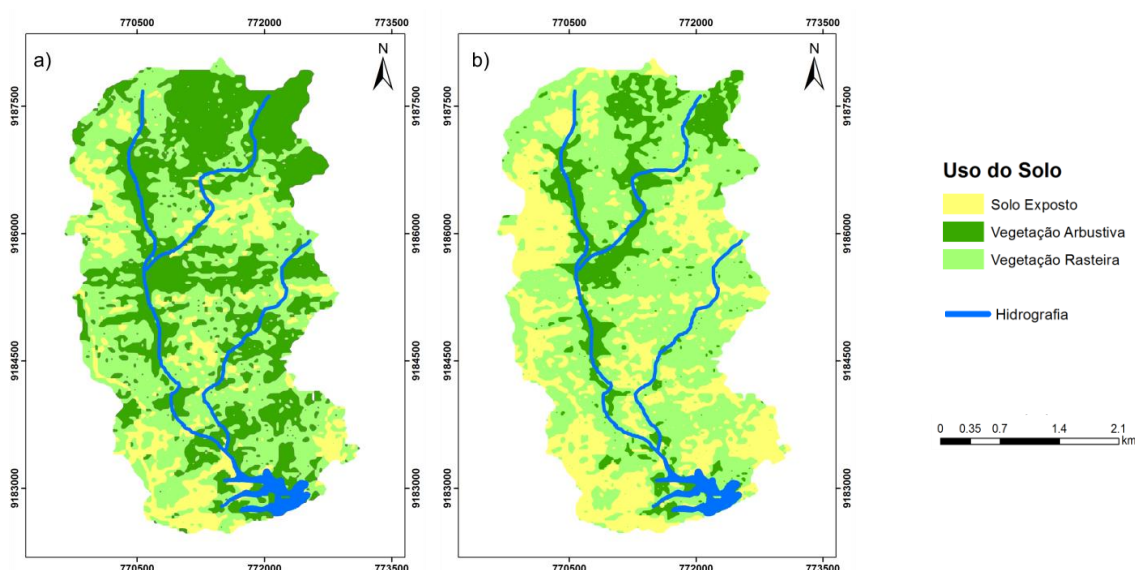
Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), foi utilizada a razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho-próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), e pela soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

sendo  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5/TM.

### 3 - Resultados e Discussão

As Figuras 4a–4b apresentam os resultados da classificação do uso e ocupação do solo da bacia, para as imagens de 17/12/2004 e 28/10/2009. Com base na classificação das duas cenas, foram mapeados três tipos de uso do solo: (a) Vegetação Rasteira; (b) Vegetação Arbustiva; e (c) Solo Exposto. Entre as imagens analisadas foi observado um crescimento de 110% da área ocupada com Solo Exposto (1,95 km<sup>2</sup> em 17/12/2004 e 4,08 km<sup>2</sup> em 28/10/2009).



**Figura 4.** Classificação do uso e ocupação do solo na Bacia Experimental de São João do Cariri para as datas 17/12/2004 e 28/10/2009.

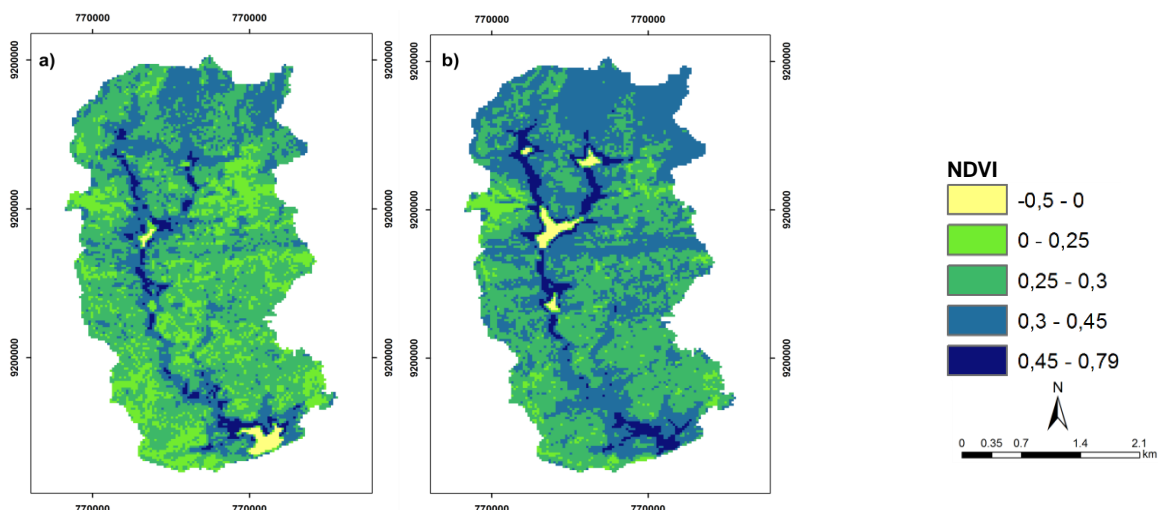
A área com Vegetação Arbustiva diminuiu de 40,22% para 16,07 %, uma redução de 60%. Em contrapartida, a Vegetação Rasteira sofreu um pequeno aumento em sua área, de 6,12 km<sup>2</sup> em 17/12/2004, para 7,25 km<sup>2</sup> em 28/10/2009 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Áreas das classes de uso e ocupação do solo na Bacia Experimental de São João do Cariri.

Classes de uso e ocupação do solo	17/12/2004		28/10/2009		Variação (%)
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	
Solo Exposto	1,95	14,43	4,08	30,26	109,62
Vegetação Arbustiva	5,43	40,22	2,17	16,07	-60,05
Vegetação Rasteira	6,13	45,34	7,25	53,68	18,37

Com base nas duas cenas analisadas, foi possível determinar os valores e as variações que ocorreram no NDVI, na temperatura de superfície, no saldo de radiação e do fluxo de calor no solo.

A figura 5a-5b mostra os mapas de NDVI da Bacia Experimental de São João do Cariri, para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009. Os resultados dos índices de vegetação mostram que houve um ligeiro aumento no vigor da vegetação, principalmente, nas porções leste e nordeste da bacia.

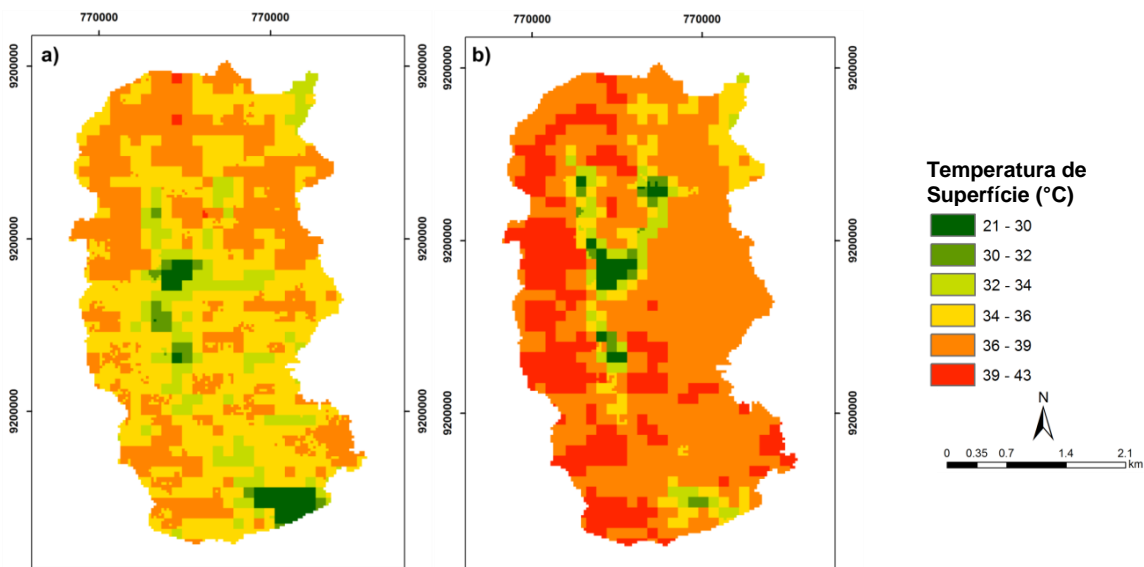


**Figura 5.** Mapas de NDVI da área de estudo para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009.

Notou-se que houve um aumento da área com valores de NDVI variando entre 0,3 e 0,45, assim como, uma diminuição das áreas com valores abaixo de 0,25 (Figuras 5a–5b). Como esperado, esses resultados são indicadores de regiões com vegetação bastante rala ou sem vegetação, algo bastante característico do semiárido brasileiro (Rodrigues et al., 2009). Contudo, em ambas as cenas é possível perceber a predominância dos valores menores que 0,3, que, de acordo com Gurgel et al. (2003) são comuns em áreas secas e com baixo regime pluviométrico.

Apesar das duas imagens serem do mesmo período de seus respectivos anos, essas variações podem ocorrer após pequenos eventos de chuva, pois os índices de vegetação, em especial, o NDVI, possui uma alta correlação com os eventos pluviométricos e, além disso, o próprio bioma Caatinga tem uma grande capacidade de produção de biomassa após as chuvas (Gurgel et al., 2003).

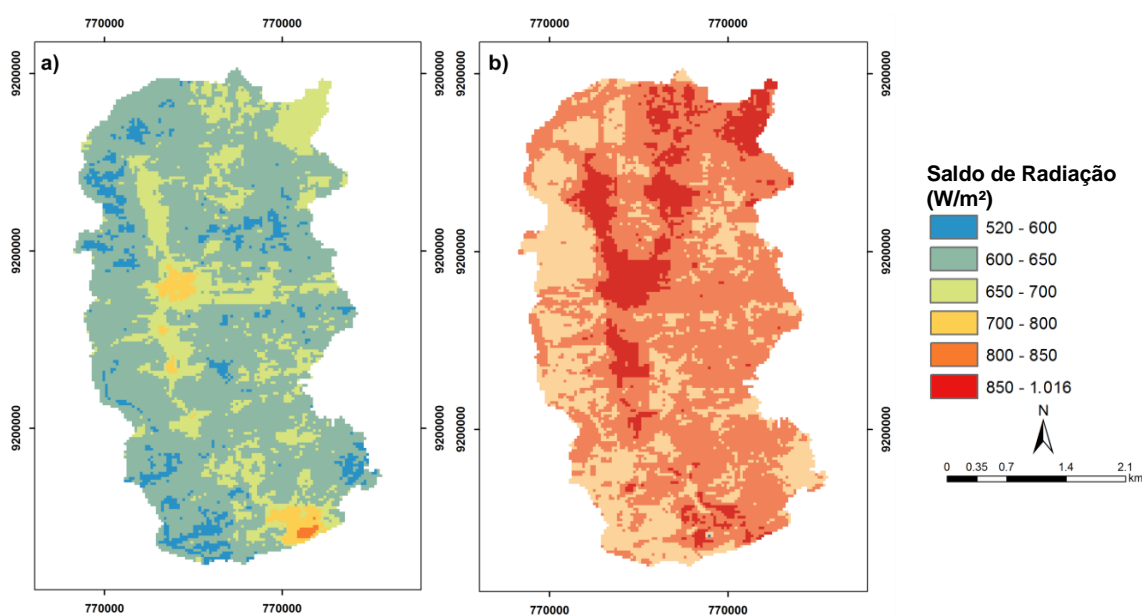
As Figuras 6a–6b mostram os mapas de temperatura da superfície para a bacia para as duas datas estudadas. Para a temperatura de superfície notou-se um aumento nos valores médios de aproximadamente 2°C entre as duas datas. Para o dia 17/12/2004 foram obtidas temperaturas variando de 21,7 a 38,8°C, já para o dia 28/10/2009, os valores de temperatura da superfície variaram entre 22 e 43°C, com valor médio igual a 37,47°C. De acordo com os resultados obtidos, observou-se um aumento das áreas com temperaturas superiores a 36°C para a imagem do dia 28/10/2009 em praticamente toda a área da bacia, principalmente nas regiões com Solo Exposto e Vegetação Rasteira.



**Figura 6.** Mapas de temperatura da superfície na área de estudo para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009.

Os menores valores de temperaturas foram encontrados nos corpos hídricos e na Vegetação Arbustiva com temperaturas entre 21 e 34°C (cor verde escuro e verde claro), para a Vegetação Arbustiva e pequenas porções de Solo Exposto foram obtidos os valores medianos na cor amarela e laranja, que equivale às áreas entre 34 e 39°C. Para as áreas mais quentes foi designada a cor vermelha, representando as áreas com temperaturas entre 39 e 43°C, localizadas predominantemente nas regiões com Solo Exposto.

As Figuras 7a–7b apresentam os mapas temáticos de saldo de radiação à superfície ( $R_n$ ) para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009. Os valores mínimos, máximos e médios encontrados nas duas cenas foram respectivamente: 520,3 W/m<sup>2</sup>, 818,6 W/m<sup>2</sup> e 635,3 W/m<sup>2</sup>, para 17/12/2004 e 698,0 W/m<sup>2</sup>, 1016,0 W/m<sup>2</sup> e 817,8 W/m<sup>2</sup>, para 28/10/2009. Esses resultados corroboram com os obtidos por Bezerra et al. (2008), para a mesorregião do Cariri, no sul do Estado do Ceará, que obtiveram valores médios entre 600 e 700 W/m<sup>2</sup>. Para Bisht e Bras (2010), esse parâmetro biofísico mostra alta resolução espacial e baixa resolução temporal, quando comparado com observações de campo. Nesse sentido, os resultados obtidos mostram que os valores de  $R_n$  apresentaram as maiores diferenças entre as duas imagens. Segundo Gomes et al. (2013), essa variação ocorre em função de diversas características da própria superfície, dentre elas a cobertura e uso do solo, albedo, umidade e temperatura do solo.



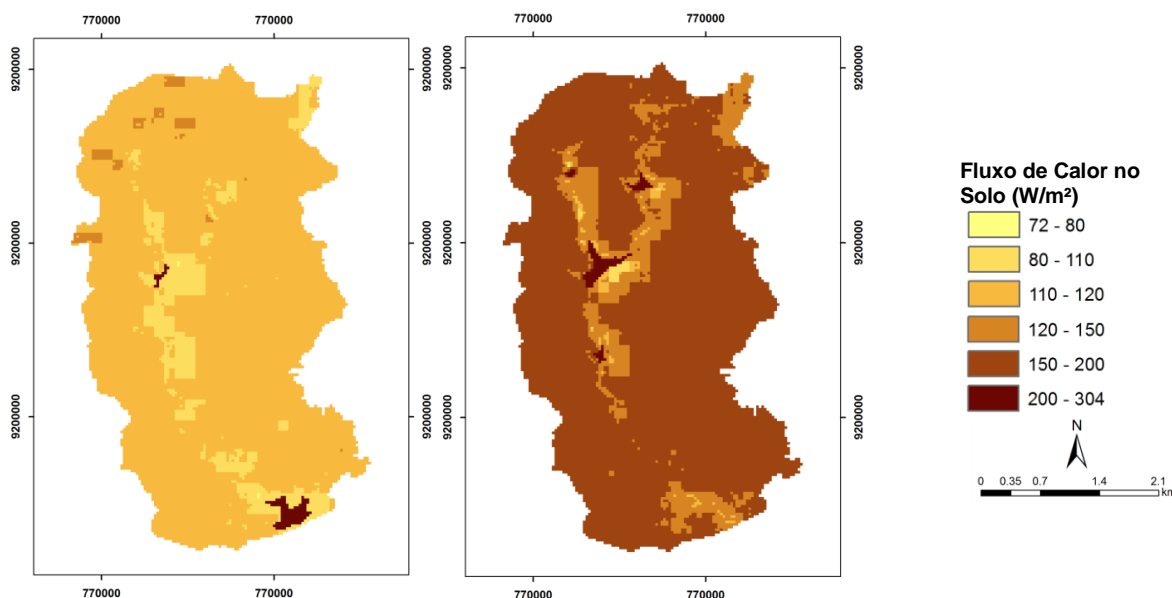
**Figura 7.** Mapas do saldo de radiação à superfície na área de estudo para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009.

Os valores médios de saldo de radiação para as coberturas Vegetação Rasteira, Vegetação Arbustiva e Solo Exposto foram de 883,8, 755,5 e 701,6 W/m<sup>2</sup>, respectivamente para as duas cenas utilizadas neste estudo. Observou-se que nas áreas com os menores valores de NDVI são encontradas também valores de  $R_n$  mais baixos (porção oeste da bacia); já os maiores encontram-se nas áreas de maior NDVI e de temperaturas mais baixas (parte central da bacia).

As Figuras 8a–8b apresentam a distribuição de fluxo de calor no solo na área de estudo nas duas imagens utilizadas. O fluxo de calor no solo representa a quantidade de energia que foi absorvida pelo mesmo e que é expressa pela temperatura de superfície. Os valores de fluxo de calor em 17/12/2004 variaram de 71,8 W/m<sup>2</sup> a 245,6 W/m<sup>2</sup> e com um fluxo médio de 115,1 W/m<sup>2</sup>. Os valores de fluxo de calor foram obtidos para o dia 28/10/2009 (91,4–303,9 W/m<sup>2</sup>), com valor médio de 157,4 W/m<sup>2</sup>. Com relação aos valores médios do fluxo de calor no solo para as coberturas Vegetação Rasteira, Vegetação Arbustiva e Solo Exposto, foram registrados 134,4, 133,6 e 138,7 W/m<sup>2</sup>, respectivamente para as duas imagens utilizadas neste estudo.

De acordo a Figura 8a, verificou-se que em 17/12/2004, os valores de fluxo de calor em grande parte da bacia variaram entre 110 a 120 W/m<sup>2</sup>, onde predominam as áreas com Vegetação

Rasteira. Para o dia 28/10/2009 a classe predominante é por valores entre 150 e 200 W/m<sup>2</sup>, que também são encontrados nas áreas de Vegetação Rasteira e Solo Exposto. Os maiores valores encontrados nas duas cenas ocorrem nos corpos hídricos, que segundo Rodrigues et al. (2009) apresentam esse comportamento devido ao fato do elevado calor específico da água e os menores valores são encontrados nas áreas de vegetação mais densa, principalmente ao longo da rede hidrográfica.



**Figura 12.** Mapa de fluxo de calor no solo na área de estudo para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009.

#### 4 - Conclusões

Os resultados obtidos com os índices de vegetação, temperatura de superfície e saldo de radiação, mostram que as áreas em torno da rede hidrográfica da bacia possuem uma área com vegetação mais adensada e com maior quantidade de biomassa, já que as menores temperaturas e os maiores valores de saldo de radiação concentraram-se nessa região. Porém, nas regiões onde predominam Solo Exposto, foram encontrados as maiores temperaturas e os valores mais baixos de saldo de radiação. Já os valores medianos encontraram-se principalmente nas áreas de Vegetação Rasteira. Além disso, os valores encontrados estão de acordo com vários estudos para áreas semiáridas.

Por fim, pode-se concluir que a técnica de sensoriamento remoto empregada, capturou de maneira evidente as variações entre os diversos parâmetros estimados, mostrando que algoritmo SEBAL é uma boa alternativa para o estudo dos componentes do balanço de radiação em áreas mais abrangentes, pois necessitam apenas de uma imagem de baixa resolução espacial e alguns dados climatológicos complementares.

#### 5 - Referências

Allen, R. G.; Tasumi, M.; Morse, A.; Trezza, R.; Wright, J. L.; Bastiaanssen, W. G. M.; Kramber, W.; Lorite, I.; Robinson, C. W. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 395-406, 2007.

Bastiaanssen, W.G.M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, n.1, p. 87-100, 2000.

Bastiaanssen, W.G.M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, Y.M.J.; Roerink, G.J.; Van Der Wal, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, n.2, p. 213-229, 1998.

- Bezerra, B.G.; Silva, B.B.; Ferreira, N.J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 3, p. 305-317, 2008.
- Bisht, G.; Bras, R.L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**, v. 114 p. 1522-1534, 2010.
- Gomes, H.B.; Silva, B.B.; Cavalcanti, E.P.; Rocha, H.R. Balanço de radiação em diferentes biomas no Estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.
- Gomes, L.C.F.; Santos, C.A.C.; Almeida, H.A. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 15-28, 2013.
- Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J.; Luiz, A.J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p. 85-90, 2003.
- Leite, M.R.; Brito, J.L.S. Avaliação de desempenho do Algoritmo Sebal na modelagem térmica da bacia do Rio Vieira no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 1, p. 161-174, 2012.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n.3, p. 517-523, 1987.
- Rodrigues, J.O; Andrade, E. M.; Teixeira, A. S.; Silva, B.B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.
- Santos, C.A.G.; Silva, R.M.; Srinivasan, V.S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.
- Silans, A.M.B.P.; Silva, F.M. Fluxo de calor sensível e evapotranspiração na Caatinga: Estudo Experimental, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 177-188, 2007.
- Silva, R.M.; Silva, L.P.; Santos, C.A.G.; Montenegro, S.M.G.L. Estimation of evapotranspiration in Brigida river basin (Brazil) by satellite remote sensing. **IAHS-AISH Publication**, v. 344, p. 208-214, 2011.
- Tasumi, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. Ph.D. Thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.
- Teixeira, A.H.C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D.; Bos, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil, Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forestry Meteorology**, v. 149, n. 4, p. 477-490, 2009.