

## Caracterização temporal e balanço de radiação do município de Pentecoste-CE utilizando dados SRTM e imagens do Landsat 5-TM

Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu<sup>1</sup>  
Adunias dos Santos Teixeira<sup>1</sup>  
Luis Clenio Jário Moreira<sup>1</sup>  
Bruno Jacques Durand<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - UFC/DENA  
Caixa Postal 12168 – 60.455.760 - Fortaleza - CE, Brasil  
adunias@ufc.br

**Abstract.** This paper aims at applying the algorithm SEBAL (Surface Energy Balance for Land) to Pentecoste - CE to assess energy balance and land use change in two periods: 1991 and 2006. Landsat 5 – TM along with SRTM digital elevation data were used in the process. The images were acquired in 7/21/1991 and 7/14/2006 and the land use was characterized for the following classes of use: agriculture, anthropic areas, water, native vegetation and forest using maximum likelihood method and SEBAL. The albedo and vegetation indices were obtained from band 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7 and the temperature of each pixel from thermal band (6) of Landsat 5-TM images. The water class presented 6.761 and 7.689 ha in 7/21/1991 and 7/14/2006, respectively. The surface albedo varied between 10 and 85% in Pentecoste city at both dates. The water presented low temperature, while the high temperatures were verified in anthropical areas. The smallest values of NDVI were observed in water, while high values were observed in forest. The highest LAI values were observed in irrigated areas, with 2.36 and 2.87 in 1991 and 2006, respectively. The net radiation (Rn) presented low values at anthropical class and high values at water class. Therefore, GIS application to the municipality of Pentecoste showed to be a cost effective method to assess energy balance and land use.

**Palavras-chave:** image processing, vegetation index, SEBAL, remote sensing, processamento de imagens, índices de vegetação, radiação líquida, SEBAL, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

O município de Pentecoste é pertencente à micro-região do Médio Curu, localizado a 85 km da cidade de Fortaleza e se destaca por possuir um dos maiores açudes do Estado, o Pereira de Miranda, com capacidade de acumular cerca de 395.638.000 m<sup>3</sup> de água. O clima é do tipo tropical quente semi-árido, com precipitação média anual de 817,7 mm, temperatura média de 27°C, com presença de depressões sertanejas e relevo plano, solos pouco profundos e pedregosos. A vegetação predominante é constituída de caatinga arbustiva densa, com presença de floresta mista dicotilo-palmacea (IPECE, 2007).

Nesse contexto, a eficiência do uso da água deve ser priorizada através do monitoramento das perdas evaporativas e por drenagem profunda. Portanto, a estimativa da evapotranspiração de perímetros irrigados em escala regional, baseadas em imagens satélites e algoritmos que permitem a conversão de medidas instantâneas em totais diários de evapotranspiração representam grande contribuição (Bastianssen et al., 1998). Um dado indispensável à utilização do sensoriamento remoto com tal finalidade é o saldo de radiação, principal fonte de energia a ser repartida no aquecimento do solo, do ar e no processo de evapotranspiração, onde, para estimá-la, é necessária a determinação do albedo e a temperatura da superfície (Silva et al., 2005). Um dos mais destacados algoritmos do sensoriamento remoto utilizado em estudos de fluxos de calor latente e sensível, o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) (Bastianssen, 1995, 2000), utiliza imagens satélites e poucos dados de superfície para estimar a evapotranspiração de maneira efetiva e econômica.

Em função dos inúmeros impactos ambientais provocados por transformações sociais e naturais ao longo do tempo, esse estudo foi conduzido com o objetivo de caracterizar as mudanças

no uso e ocupação do solo e no balanço de radiação no município de Pentecoste, CE nos anos de 1991 e 2006, utilizando dados SRTM e imagens do Landsat 5-TM.

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. A área de estudo localiza-se no município de Pentecoste, que faz parte da bacia do Curu, com as coordenadas geográficas de latitudes entre 3°41'12'' W e 4°03'59'' W, longitude entre 39°26'05'' S e 38°56'30'' S, porção noroeste do Estado do Ceará.

As imagens foram (Figura 1) obtidas através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço <http://www.inpe.br>, utilizando a plataforma do satélite Landsat 5-TM, cobrindo a faixa espectral do visível ao infravermelho próximo na órbita 217, ponto 63, registrada pelo sensor nos dias 21 de julho de 1991 e 14 de julho de 2006, no início do período seco do ano. As imagens foram georeferenciadas pelo banco de dados do GoogleEarth no datum WGS-84, e com o auxílio do programa computacional ENVI 4.3® foram convertidas para o datum SAD-69.



Figura 1. Composição RGB das imagens do município de Pentecoste com a localização dos alvos nos anos de 1991 (à direita) e 2006 (à esquerda).

Realizou-se através do ENVI a classificação supervisionada, através do método da máxima verossimilhança, onde foram determinadas cinco classes de uso e ocupação do solo, entre elas:

- Agricultura: classe que engloba as áreas utilizadas na atividade agrícola, sendo caracterizada por polígonos de lados bem definidos, em vermelho arosado quando vegetada e branco a cinza quando o solo se encontra em descanso ou preparado para o plantio;
- Antropizada: abrange as áreas onde não há cobertura vegetal devido a diversos tipos de atividades humanas, como áreas degradadas, estradas, aglomerados urbanos, jazidas, áreas de empréstimo, etc. Apresenta-se em tonalidades de cores que variam do branco amarelado ao cinza esverdeado;
- Água: que engloba os reservatórios tais como açudes e lagoas, apresenta tonalidades que variam do preto ao azul claro conforme as águas apresentem de menores a maiores quantidades de sedimentos e nutrientes;
- Vegetação Nativa: engloba a caatinga, formação vegetal de porte variável, caducifólias, de caráter xerófilo, com cor vermelha escuro, característica de vegetação hipoxerófila;
- Mananciais: incluem as áreas das imagens localizadas nas proximidades dos percursos dos rios, lagos e reservatórios. Os mananciais apresentam tonalidade vermelha intensa, característica de vegetação hiperxerófila;

Para determinar o conjunto dos pixels representativos para cada classe, utilizou-se a ferramenta de auxílio Região de Interesse. Em seguida, aplicou-se o algoritmo da classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança. Em seguida, foi realizada a vetorização em cada classe obtida nas imagens objetivando a quantificação das áreas. No programa computacional ArcGis 9.0® as imagens foram exportadas visando a quantificação da área de cada classe.

O balanço de radiação foi realizado utilizando o algoritmo SEBAL no programa ARCGIS, onde primeiramente foi delimitada a área de interesse e em seguida, realizadas as seguintes operações:

### **Etapa 1 - Calibração Radiométrica ( $L_{\lambda_i}$ )**

A primeira Etapa computacional do SEBAL foi a obtenção da calibração radiométrica ou radiância espectral ( $L_{\lambda}$ ) que é a conversão do Número Digital (ND) de cada pixel em radiância espectral monocromática, calculada pela seguinte equação:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND$$

onde:  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $a_i$  o coeficiente de calibração (radiância mínima) de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $b_i$  o coeficiente de calibração (radiância máxima) de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) na Tabela 1;  $i$  são as bandas (1;2;3;4;5;6 e 7) do Landsat 5 e ND é o número digital de cada pixel na imagem.

Tabela 1 - Descrição das bandas TM do Landsat 5, com intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (mínima [a] e máxima [b]) e irradiância espectral no topo da atmosfera (TOA)

Descrição dos Canais	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de Calibração ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ )		TOA, $k\lambda(k_{\lambda_i})$ ( $\text{W.m}^{-2}\mu\text{m}$ )
		a	b	
Bandas				
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,53 – 0,61	-2,84	365,0	1829
3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-1,17	264,0	1557
4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	-1,51	221,0	1047
5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,37	30,20	219,3
6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,15	16,50	74,52

Fonte: Chander & Markhan (2007)

### **Etapa 2 – Reflectância ( $\rho_{\lambda_i}$ )**

A reflectância monocromática ( $\rho_{\lambda}$ ) é a razão entre a radiação solar refletida e incidente em cada pixel. O seu cômputo é obtido pela equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

Onde:  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral, computadas na 1ª Etapa;  $k_{\lambda_i}$  é a constante solar monocromática associada a cada banda do TM – Landsat 5, cujos valores válidos para dados radiométricos gerados pelo Landsat 5 após 5 de maio de 2003, de acordo com Chander e Markham (2007), estão apresentados na Tabela 1 ;  $Z$  é o ângulo zenital do Sol; e  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância Terra-Sol, que é obtida pela equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(DJ \frac{2\pi}{365}\right)$$

Onde: DJ é o dia do ano que foram obtidos os dados radiométricos (imagem de satélite), cujos valores correspondentes ao dia da geração das imagens, bem como o  $dr$  e o  $\cos Z$ , para os respectivos dias.

Nessa etapa, esse procedimento é feito somente nas 6 bandas, excetuando a banda 6.

### **Etapa 3 – Albedo no topo da atmosfera ( $\alpha_{toa}$ )**

O cálculo do albedo não corrigido no topo da atmosfera foi feito através de uma combinação linear das reflectâncias espectrais ( $\rho\lambda$ ), calculados na 2ª Etapa, e o coeficiente de regressão para cada banda de acordo com a equação:

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

Onde:  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente.

### **Etapa 4 – Albedo da Superfície**

A atmosfera terrestre produz interferência na radiação solar e na radiação refletida, portanto o albedo calculado para o topo da atmosfera necessita de correções aos processos de absorção e espalhamento. De acordo com Bastiaanssen (1995), essa correção se faz usando a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}$$

Onde:  $\alpha_{toa}$ : albedo no topo da atmosfera;  $\alpha_p$  é a radiação solar refletida pela atmosfera que varia de 0,025 a 0,04, mas para o SEBAL é recomendado usar 0,03 segundo Bastiaanssen (2000);  $\tau_{sw}$  a transmissividade atmosférica.

Para céu claro e condições relativamente secas a transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ), pode ser obtida segundo a equação acima (Allen et al., 2002), em função da elevação  $z$  do terreno.

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z$$

### **Etapa 5 – Índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF)**

O NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), que é um indicativo das condições, da densidade e porte da vegetação, foi obtido através da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo ( $\rho_{iv}$ ) e do vermelho ( $\rho_{III}$ ) e a soma das mesmas reflectâncias conforme equação (Allen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_{III}}{\rho_{iv} + \rho_{III}}$$

Onde:  $\rho_{iv}$ : refletividade da banda 4 (infravermelho próximo) e  $\rho_{III}$  é a refletividade da banda 3 (vermelho); os valores de NDVI variam de -1 a +1. A maioria das superfícies têm valor maior que 1, já para as nuvens e a água, o NDVI é normalmente menor que 0.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) que visa amenizar os efeitos que o NDVI sofre em relação ao solo, é obtido pela seguinte equação:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{iv} - \rho_{III})}{(L + \rho_{iv} + \rho_{III})}$$

Onde:  $\rho_{iv}$ : refletividade da banda 4 (infravermelho próximo) e  $\rho_{III}$  é a refletividade da banda 3 (vermelho) e  $L$  é uma constante, a qual foi atribuído o valor de 0,5 Allen et al. (2002):

O cálculo do IAF (Índice de Área Foliar), que representa a razão entre a área total de todas as folhas contidas em dado pixel, pela área do pixel, foi feito por equação empírica obtida por Allen et al. (2002):

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

### **Etapa 6 – Emissividades ( $\epsilon_{NB}$ e $\epsilon_0$ )**

A emissividade foi calculada pelas seguintes expressões (Allen et al., 2002)

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \times IAF$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times IAF$$

Onde: IAF é o Índice de Área Foliar.

As equações acima são válidas para NDVI > 0 e IAF < 3. Para valores de IAF  $\geq$  3,  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ . Para NDVI < 0,  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$  (Allen et al., 2002).

### **Etapa 7 – Temperatura da Superfície ( $T_s$ )**

A obtenção de  $T_s$  em graus Kelvin (K) é feita através da equação de Planck invertida, em função da radiação espectral da banda termal  $L_{\lambda 6}$  e da emissividade  $\epsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior:

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

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

A temperatura em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) foi obtida através da diferença entre a  $T_{\text{Kelvin}}$  e 273.

### **Etapa 8 – Radiação de Onda Longa Emitida ( $R_{L\uparrow}$ )**

A Radiação de Onda Longa Emitida por cada pixel é calculada através da equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_o \cdot \sigma \cdot T^4$$

Onde:  $\epsilon_o$  é a emissividade de cada pixel;  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ );  $T$  é a carta da temperatura (K).

### **Etapa 9 – Radiação de Onda Curta Incidente ( $R_{S\downarrow}$ )**

A Radiação de Onda Curta Incidente foi calculada para cada pixel, isso sendo possível com o uso do SRTM para determinar a transmissividade. De acordo com Allen et al. (2002), é calculada pela seguinte expressão:

$$R_{S\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw}$$

Onde:  $S$  é a constante solar ( $1,367 \text{ W.m}^{-2}$ );  $Z$  é o ângulo zenital solar;  $d_r$  e  $\tau_{sw}$  já foram definidos anteriormente.

### **Etapa 10 – Radiação de Onda Longa Incidente ( $R_{L\downarrow}$ )**

A Radiação de Onda Longa Incidente é o fluxo de radiação térmica descendente da atmosfera ( $\text{W.m}^{-2}$ ) que é calculado usando a equação de Stefan-Boltzman, em função da emissividade do ar:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4$$

Onde:  $\varepsilon_a$  é a emissividade atmosférica obtida por  $\varepsilon_a = 0,85(-\ln(\tau_{sw}))^{0,09}$ ;  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman ( $5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$ ) e  $T_a$  a temperatura do pixel frio (K).

### **Etapa 11 – Radiação Líquida ( $R_n$ )**

A Radiação Líquida da superfície é obtida utilizando a equação abaixo do balanço de radiação de ondas curtas e longas (Allen et al., 2002), ou a equação simplificada abaixo.

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad \text{ou} \quad R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} - R_{L\uparrow} + \varepsilon_o R_{L\downarrow}$$

Adotaram-se, para fins comparativos, os seguintes alvos: P1 – agricultura, P2 – antropizada (município de Pentecoste), P3 – água (Açude Pereira de Miranda), P4 - vegetação nativa e P5 – mananciais (Figura 1).

### **3. Resultados e discussão**

Na figura 2, observa-se que a classe água para os anos de 1991 e 2006 apresenta áreas de 6.761 e 7.689 ha, respectivamente. A superioridade no ano de 2006 é fato inesperado, tendo em vista a diminuição de áreas de mananciais, vegetação nativa e aumento de área cultivada. No entanto, é possível que tenha havido construção de pequenos açudes nos últimos anos.

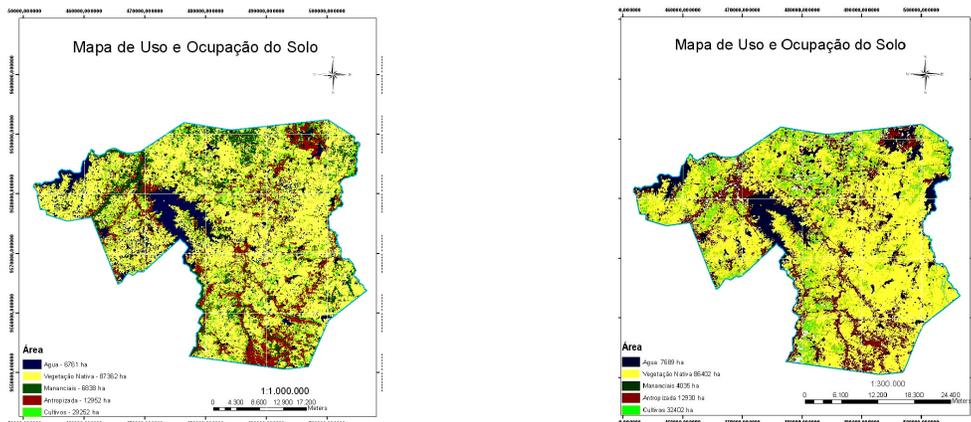


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo em 1991 e 2006, à esquerda e à direita, respectivamente.

A classe vegetação nativa no ano de 1991 apresentou maior área (87.362 ha) em relação ao ano de 2006 (86.402 ha), sendo esta última 1,09% menor que a imagem obtida em 1991. Tal fato pode ter ocorrido em virtude do desmatamento e substituição por culturas agrícolas e, em menor magnitude da precipitação pluviométrica, que no ano de 1991 foi superior (930 mm) ao ano de 2006 (883,8 mm), conforme dados coletados do histórico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). O mesmo comportamento foi observado na classe de mananciais com 6.838 ha no ano de 1991, reduzindo para 4.035 ha no ano de 2006. Além da inferioridade da precipitação nesse ano, a diminuição de mais de 50% de área nessa classe deveu-se também ao crescimento da área de cultivos que ocorreram principalmente nos mananciais já que apresentam solos de baixio (aluvionais), que são mais úmidos. A classe antropizada permaneceu praticamente inalterada no decorrer dos 15 anos. A área destinada ao cultivo cresceu em torno de 10% no período do estudo.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do balanço de radiação dos alvos.

O albedo de superfície variou entre 10 e 85% no município de Pentecoste nas duas datas em estudo. Na área destinada à agricultura, observou-se redução do albedo em 14 pontos percentuais,

quando se comparou os anos de 1991 e 2006. O mesmo comportamento foi observado na área antropizada e na área de vegetação nativa, com diminuição de dois pontos percentuais em ambas, sendo o inverso observado nas áreas de água e dos mananciais.

Tabela 2. Parâmetros instantâneos obtidos em cinco diferentes alvos no município de Pentecoste, para os dias 21/07/1991 e 14/07/2006

Alvo	P1	P2	P3	P4	P5
	Agricultura	Antropizada	Água	Vegetação Nativa	Mananciais
1991					
Albedo de superfície (%)	56	82	5	48	37
Temp. da superfície (°C)	26,7	31,8	24,0	26,1	29,1
NDVI <sup>1</sup>	0,61	-0,19	-0,30	0,03	0,67
IAF <sup>2</sup>	2,36	-0,45	-0,29	0,42	2,33
Radiação Líquida (W.m <sup>2</sup> )	422	36,0	722	405	406
2006					
Albedo de superfície (%)	42	78	6,1	36	39
Temperatura da superfície	26,2	32,1	24,9	27,5	29,2
NDVI	0,62	-0,21	0,31	0,43	0,66
IAF	2,87	-0,50	-0,18	0,67	2,37
Radiação Líquida (W.m <sup>2</sup> )	401	53,0	626	361	436

<sup>1</sup>NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

<sup>2</sup>IAF – Índice de Área Foliar.

O albedo máximo foi encontrado na área antropizada (82%) no ano de 1991, localizada no município de Pentecoste, valor bastante elevado, mas justificável pelo grande número de vias pavimentadas. Moreira (2007) trabalhando com o balanço de radiação no município de Limoeiro do Norte, CE encontrou valor máximo de albedo de 87% em uma empresa mineradora de calcário.

Quanto aos valores de temperatura, observou-se que os corpos hídricos apresentaram menores temperaturas, enquanto as maiores temperaturas foram verificadas nas áreas antropizadas. Para todos os alvos, observou-se aumento na temperatura quando se compararam os anos de 1991 e 2006, com uma maior magnitude na área antropizada e menor nas áreas de mananciais.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um indicativo da massa e condição de massa verde presente na superfície, ou seja, de energia latente armazenada, com valores variando entre -1 e 1. Na Tabela 2, pode ser observado o menor NDVI na água, enquanto os maiores valores foram obtidos na classe mananciais. Em geral, observou-se que o NDVI variou pouco entre os alvos estudados em ambas as datas, excetuando a classe pastagem nativa, que no dia 21/07/1991 foi de 0,03, enquanto que no dia 14/07/2002 foi de 0,43.

O Índice de Área Foliar (IAF) é um índice de vegetação que mede a relação entre área do solo e a área da cobertura vegetal sobre o mesmo, possuindo alta correlação com o NDVI (0,8726) (Liu, 2006). Os maiores valores de IAF estão nas áreas irrigadas, com 2,36 no ano de 1991 e 2,87 no ano de 2006.

A radiação líquida (Rn) apresentou valores baixos na classe antropizada e elevados na classe água. Os valores de radiação líquida na água corroboram com os dados obtidos por Silva et al. (2005), que obtiveram Rn de 750 W.m<sup>2</sup> no Lago Sobradinho, BA. Na área de agricultura foi baixa, apresentando 422 W.m<sup>-2</sup> no ano de 1991 e 401 W.m<sup>2</sup> no ano de 2006, sendo esses valores inferiores aos obtidos por Durand et al. (2007) usando imagens do Landsat 7-ETM de 1999 para estimativa da evapotranspiração na Chapada do Apodi.

#### 4. Conclusões

Concluiu-se que houve variação temporal no uso e ocupação do solo, assim como nos índices de vegetação nas duas imagens avaliadas. A utilização do SIG para fins de caracterização temporal e balanço de radiação do município de Pentecoste através da geração de mapas temáticos mostrou-se eficaz, apresentando-se como uma alternativa prática e viável, minimizando custos e tempo de execução dos trabalhos.

#### Referências bibliográficas

Allen, R. G.; Trezza, R.; Tasumi, M. **Surface energy balance algorithms for land – Advanced training and users manual**, version 1.0, p. 98, 2002.

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

Bastiaanssen, W. G. M. **Regionalization os surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**, Tese (Ph.D.), Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273f, 1995.

Bastiaanssen, W. G. M.; Meneti, M.; Feddes, R. A.; Holstlag, A. A. M.. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)1, Validation, **Journal of Hidrology**, n. 212 – 213, p. 213-229, 1998.

Chander, G.; Markham, B. L. **Revised Landsat 5 Thematic Mapper radiometric calibration**. IEEE Geoscience and remote sensing letters, v. 4, n. 3, Julho, 2007.

Durand, B. J.; Gondim, R. S.; Silva, E. J. da.; Moreira, L. C. J.; Teixeira, A. S. dos. Estimativa da evapotranspiração real utilizando o algoritmo SEBAL e imagens do satélite Landsat 7. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABRH.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - **FUNCEME**. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEPAM/chuvas/chuvas.php>. Acesso em 21 mai 2008.

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em 20 mai 2008.

**Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE** – Perfil básico municipal. Pentecoste. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em 09 jul 2008.

Liu, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 908 p. 2006.

Meireles, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo sebal e imagem Landsat 5 – TM na bacia do Acaraú – CE**. Fortaleza, CE. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

Moreira, L. C. J. **Estimativa da evapotranspiração horária usando o algoritmo SEBAL e imagens Lansat 5-TM**. Fortaleza: UFC, 2007. 90 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará/UFC, 2007.

NASA. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível no site: <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>. Acesso em 02 jul 2008.

Silva, B. B. da; Bezerra, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens Lndsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2005.