

Avaliação do balanço de energia em diferentes tipos de uso e cobertura da terra na região noroeste do Estado de São Paulo

Renato Alberto Momesso Franco¹

Fernando Braz Tangerino Hernandez¹

Antônio Heriberto de Castro Teixeira²

Diego Gonçalves Feitosa¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP

Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil

{fbthtang}@agr.feis.unesp.br

{bioramfranco}@yahoo.com.br

{diegogfeitosa}@yahoo.com.br

²Embrapa Semiárido - CPATSA

Caixa Postal 23 - 56302-970 - Petrolina - PE, Brasil

{heriberto.teixeira}@embrapa.br

Abstract: The determination of the net radiation at surface (R_n) is very important, since it is the main energy source for the evapotranspiration process. The objective of this study was the determination of radiation balance using images from Thematic Mapper - TM sensor of the satellite Landsat 5, in different use and land cover in the northeastern São Paulo State. Surface albedo (α_0), NDVI and surface temperature (T_0) were the basic remote sensing parameters necessary to calculate the latent heat flux (λE) and the surface resistance to evapotranspiration (r_s) at the large scale. The algorithm used to calculate evapotranspiration was SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving). The daily net radiation (R_n) was retrieved from α_0 , air temperature (T_a) and transmissivity (τ_{sw}) throughout the slob equation, allowing the quantification of the daily sensible heat flux (H) by residual in the energy balance equation. The fraction of incident solar radiation ($R_{G\downarrow}$) turned into net radiation (R_n) ranged between 36% to 48%, averaging 42%. The smallest fraction of $R_n / R_{G\downarrow}$ occurred in target sugarcane on 15/07/2011, an increase of $RL\uparrow$ ($43.65 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and reduction in net radiation ($5.71 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). The largest fraction of $R_n / R_{G\downarrow}$ was 0.48 in the target forest fragment on 04/11/2011, with a decrease in the value of $RL\uparrow$ ($40.22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and increase in value R_n ($13.45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Palavras-chave: surface albedo, latent heat flux, sensible heat flux, albedo de superfície, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível.

1. Introdução

Nos últimos anos, o uso do sensoriamento remoto vem sendo utilizados em estudos do ambiente, tornando uma ferramenta importante no diagnóstico e monitoramento ambiental, com a obtenção de informações necessárias ao gerenciamento e gestão dos recursos ambientais. As técnicas de sensoriamento tem sido eficiente na detecção de informações em áreas extensas de forma rápida e efetiva, principalmente de dados meteorológicos e ambientais.

Através dos dados obtidos por diversos sensores a bordo de satélites é possível caracterizar o comportamento da radiação solar refletida e/ou emitida por alvos à superfície terrestre e calcular os valores de refletividade em diferentes faixas do espectro eletromagnético e da temperatura de superfície. O resultado desta análise é a obtenção de diversos parâmetros biofísicos da superfície terrestre que auxiliam na identificação de mudanças no uso e ocupação do solo de uma determinada região.

Os parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto, como a temperatura de superfície (T_0) e o albedo de superfície (α_0) são componentes importantes para o cálculo de saldo de radiação à superfície (R_n). O balanço de radiação sobre a superfícies vegetadas (R_n) representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera, sendo utilizado no aquecimento do ar e do solo; transferência da água, na forma de vapor, da superfície para a atmosfera através da evapotranspiração; e metabolismo das plantas, especialmente a fotossíntese (Lima et al., 2009). O seu

conhecimento é fundamental na estimativa das perdas de água que ocorrem das superfícies vegetadas, principalmente de área irrigadas que necessitam destes dados para o gerenciamento das atividades agrícolas.

Os métodos de estimativas dos fluxos de balanço de energia na superfície terrestre envolvem duas partes: uma parte é quantificar a energia líquida dos fluxos das radiações onda curta e onda longa recebida na superfície e a outra parte é quantificar os fluxos da utilização da radiação líquida recebida pela superfície terrestre. Teixeira (2010) desenvolveu e validou dois algoritmos para obter os valores regionais do fluxo de calor latente (λE) e a resistência a evapotranspiração (r_s) que juntos ao saldo de radiação é possível quantificar o fluxo de calor latente e o fluxo de calor sensível (H) (Teixeira et al., 2008a). Recentemente Teixeira (2012) denominou o modelo para estimar a evapotranspiração de SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) e considera que o algoritmo possibilita a utilização de informações de sensoriamento remoto e de dados meteorológicos diários obtidos em estação automática e a possibilidade de aplicação do balanço de energia na superfície terrestre em escala regional.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros biofísicos e determinar o balanço de energia na superfície terrestre em diferentes tipos de uso e cobertura do solo na região noroeste paulista, com o uso de imagem do satélite *Landsat Thematic Mapper-5*. O conhecimento destes parâmetros é importante para a geração de informações aplicada ao manejo da agricultura irrigada no noroeste paulista.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da área de estudo e dados meteorológicos

O estudo de avaliação dos dados biofísicos foi realizado em três tipos de usos e ocupação do solo na região noroeste do Estado de São Paulo. Avaliaram os dados de ocupação da cana-de-açúcar, fragmento de mata (Florestal Estacional Semidecídua) e área irrigada com pivô central (Figura 1). A área de estudo encontra-se nos municípios de Pereira Barreto (cana-de-açúcar), Sud-Mennucci (área irrigada) e Suzanápolis (fragmento de mata).

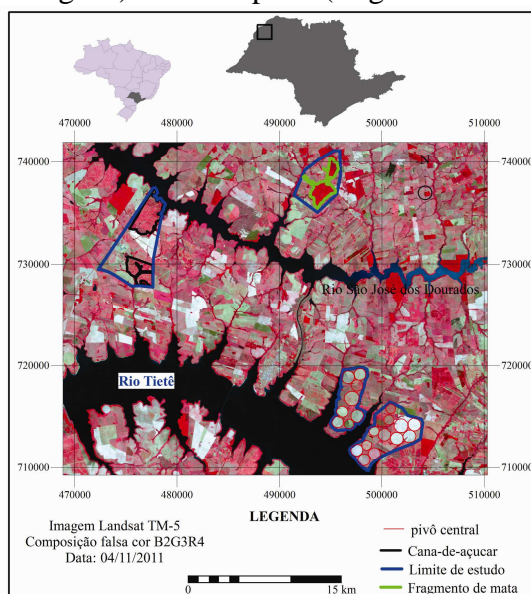


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, região noroeste paulista.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região noroeste apresenta clima de savanas Aw, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso. Santos et al. (2010) determinaram o balanço hídrico para a região de Marinópolis-SP, utilizando dados históricos

de 1999 a 2009 e obtiveram precipitação média anual de 1.111 mm e evapotranspiração potencial de 1.421 mm ao ano.

Para a região de Ilha Solteira a precipitação média anual é de 1.354 mm, a evapotranspiração média anual com 1.506 mm e a região se caracterizou por apresentar sete meses com deficiência hídrica (abril a outubro) com o total anual de 442 mm e excedente hídrico de 296 mm, considerando uma CAD de 40 mm (Damião et al., 2010). Além disso, a região apresenta a maior taxa de evapotranspiração do Estado de São Paulo (Hernandez et al., 2003) e oitos meses de deficiência hídrica no solo (Santos et al., 2010) motivo pelo qual o uso do sistemas de irrigação é fundamental para repor as necessidades hídricas e garantir a produtividade máxima das culturas

Para a realização deste estudo foram utilizadas duas cenas do sensor *TM/Landsat 5*, órbita 222 e ponto 74, datadas em 15/07/2011 e 04/11/2011. Estas imagens foram obtidas gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

No presente trabalho, foram utilizados dados meteorológicos de sete estações automáticas distribuídas espacialmente no noroeste paulista e operada pela Área de Hidráulica e Irrigação (UNESP, 2011).

Como ferramenta de programação e cálculo utilizou-se a função *script* disponível no software ILWIS (*Integrated Land Water Information System*), que permite o cálculo e aplicação da modelagem através de dados *raster*.

2.2. Balanço de energia na superfície terrestre

Inicialmente os dados de radiação global (R_G), temperatura do ar (T_a) e evapotranspiração de referência (ET_0) de sete estações agrometeorológicas distribuídas espacialmente no noroeste paulista foram interpolados, formando uma grade de dados no formato *raster* e posteriormente inclusos aos dados de sensoriamento remoto para os cálculos do balanço de energia na superfície terrestre em escala regional.

O albedo da superfície (α_0) foi obtido através das radiações espectrais do satélite *Landsat Thematic Mapper-5* na região do visível e em seguida utilizou expressões matemáticas e correções atmosférica (Teixeira, 2010).

Os parâmetros de sensoriamento albedo de superfície (α_0), temperatura da superfície (T_0) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foram calculados e usados na obtenção da evapotranspiração (ET) conforme Teixeira (2010) (Equação 1) e a resistência de superfície terrestre à evaporação (r_s) foi obtido conforme Su (2002) (Equação 2).

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

$$r_s = \exp \left[a \left(\frac{T_0}{\alpha_0} \right) (1 - NDVI) + b \right] \quad (2)$$

onde a e b são coeficientes de regressão, com valores de 1,8 e - 0,008, respectivamente; ET_0 é a evapotranspiração de referência calculado pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e obtidas a partir de setes estações agrometeorológicas distribuídas espacialmente no noroeste paulista.

Para o cálculo do balanço de energia diário na superfície terrestre utilizou-se os dados de radiação solar incidente medido por piranômetros em estações agrometeorológicas automáticas, conforme descrito na etapa inicial. Em seguida obteve os dados de radiação de onda longa refletida ($RL\uparrow$) através da equação de Stefan-Boltsman, temperatura da superfície

(T_0) e emissividade da atmosfera (ϵ). A radiação de ondas longas incidente ($RL\downarrow$) foi calculada usando a equação de Stefan-Boltzmann e a emissividade atmosférica (ϵ_a) modelada em função da transmissividade atmosférica e dados da temperatura do ar (T_a) provenientes das estações agrometeorológicas, conforme determinou Teixeira et al. (2009).

A radiação de onda curta incidente ($RS\downarrow$) foi obtida utilizando dados de temperatura do ar medidos, conforme descrito por Su (2002).

O saldo de radiação (R_n) constitui o resultado do cômputo da energia radiante recebida e emitida pela superfície na forma de ondas curtas e longas. Os valores diários de R_{n24} foi calculado através do albedo (α_{024}), da radiação solar global (R_{G24}) e da transmissividade atmosférica (τ_{sw}) (Teixeira et al., 2008a). Os valores de 24 horas de radiação (R_n) pode ser descrito por valores de 24 horas de radiação de onda curta líquida, com um termo de correção de radiação de onda longa líquida para a mesma escala de tempo, de acordo com a Equação 3 (Teixeira, 2010):

$$R_n = (1 - \alpha_0)R_G \downarrow - a\tau_{sw} \quad (3)$$

em que: $R_G\downarrow$ é a radiação solar global incidente, medido por piranômetro; α_0 é o albedo de superfície; a é o coeficiente de regressão entre a radiação de onda longa líquida e a transmissividade atmosférica (τ_{sw}) na escala diária. A transmissividade representa a relação entre a radiação de onda curta que incide no topo da atmosfera e a que chega à superfície terrestre de forma direta e difusa. A equação de regressão entre o coeficiente a e a temperatura do ar (T_a) foram utilizados nos cálculos conforme determinou Teixeira (2008b). Os valores de radiação global (R_G) e temperatura da superfície (T_a) foram obtidos a partir das estações agrometeorológicas e os valores pontuais dos dados foram interpolados através do uso de geoprocessamento.

Transformando ET em unidade de energia, o fluxo de calor latente foi quantificado e o fluxo de calor sensível obtido como resíduo da equação do balanço de energia e assumindo que o fluxo de calor no solo (G) é zero na escala diária:

$$H = R_n - \lambda E \quad (4)$$

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 os valores médios de balanço de energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo, com imagens do satélite *Landsat-TM* com cenas obtidas em de 15/07/2011 e 04/11/2011. Os menores valores médios de radiação solar global incidente ($R_G\downarrow$) ocorreram no mês de julho (15/07/2011) e os maiores valores médios ocorreram no mês de novembro (04/11/2011).

Os menores valores de radiação global medidos nas estações agrometeorológicas no noroeste paulista no ano de 2011 ocorreram nos meses de junho e julho, com valores médios de $14,5 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e $15,5 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$, respectivamente; o maior valor médio de radiação global no ano de 2011 ocorreu no mês de novembro, com valor de $22,7 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Lacerda et al., 2012).

A fração de radiação solar global incidente ($R_G\downarrow$) transformada em saldo de radiação (R_n) teve variação entre 36% a 48%, com média de 42%. A menor fração de $R_n/R_G\downarrow$ ocorreu na alvo de cana-de-açúcar em 15/07/2011, com aumento de $RL\uparrow$ ($43,65 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e redução no saldo de radiação ($5,71 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$). A maior fração de $R_n/R_G\downarrow$ foi de 0,48 no alvo de fragmento de mata no dia 04/11/2011, com diminuição no valor de $RL\uparrow$ ($40,22 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e aumento no valor de R_n ($13,45 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios diários dos componentes do balanço de energia em diferentes uso e cobertura do solo.

Alvo	Datas	R _G ↓	RS↑	RL↓	RL↑	R _n	R _n / R _G ↓
		MJ m ⁻² d ⁻¹					
Cana-de-açúcar	15/07/2011	15,60	2,46	36,21	43,65	5,71	0,36
	04/11/2011	27,72	7,12	32,05	39,78	12,82	0,46
Área irrigada	15/07/2011	17,16	2,69	35,92	43,08	7,32	0,42
	04/11/2011	27,71	8,97	32,12	39,91	11,31	0,40
Fragmento de mata	15/07/2011	16,36	2,34	36,28	43,76	6,60	0,40
	04/11/2011	27,54	6,34	32,33	40,22	13,45	0,48

(R_G↓: é a radiação solar global incidente; RS↑: radiação solar de onda curta refletida; RL↓: radiação solar de onda longa incidente; RL↑: radiação solar de onda longa refletida; R_n: saldo de radiação; R_n/ R_G↓; taxa de radiação de solar de onda curta incidente).

A imagem *Landsat* TM-5, cena do dia 15 de julho de 2011 apresentou valores médios estimados de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) para a cana-de-açúcar de 0,37, 0,48 para o fragmento de mata e para a área irrigada com pivô central foi de 0,58, indicando que nesta época o solo estava coberto por culturas agrícolas (Figura 2a). Na cena do dia 04/11/2011 os valores médios estimados de NDVI foram 0,58 para o fragmento de mata, o valor médio de 0,44 para a cana-de-açúcar e a área irrigada por pivô central com valor médio de 0,36. O baixo valor médio de NDVI para a área irrigada é devido ausência de cobertura agrícola neste período em determinados pivôs (Figura 2b).

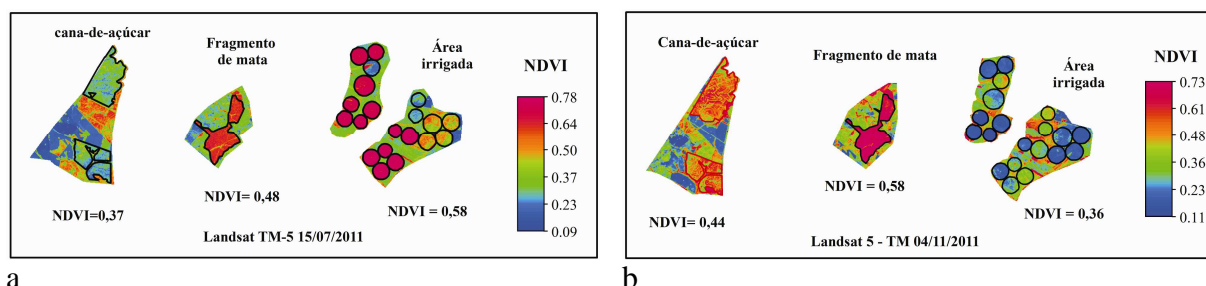


Figura 2. Valores médios de NDVI em cada classe de usos e ocupação do solo em 15/07/2011 (a) e 04/11/2011 (b).

O menor albedo de superfície ocorreu no alvo fragmento de mata, na cena do dia 15/07/2011 com valor de 0,14% e o maior valor médio diário ocorreu na área irrigada no dia 04/11/2011 com 0,32% (Figura 3b), devido à ausência de cobertura vegetal e com o solo exposto nos pivôs analisados.

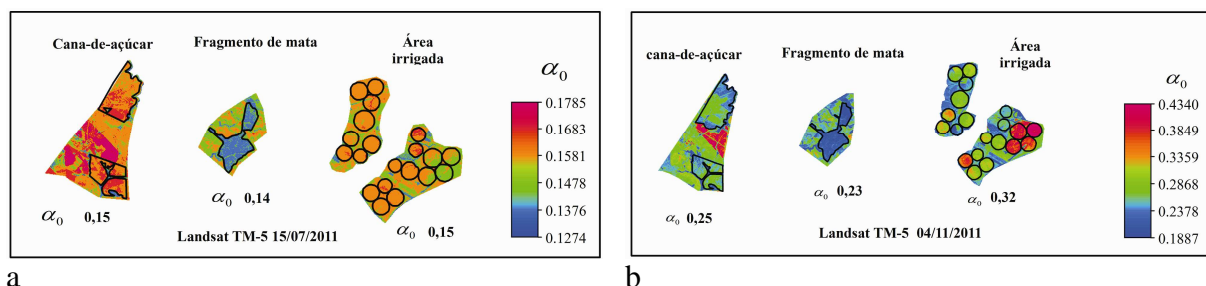


Figura 3. Valores médios de albedo de superfície (α_0) com escala de tempo diária em diferentes tipos de uso e ocupação do solo, com cena de 15/07/2011 (a) e 04/11/2011 (b).

No mês de julho o menor valor médio diário de temperatura de superfície ocorreu na área irrigada, com valor de 309,43 K (36,28°C) (Figura 4a) e os maiores valores médios diários ocorreram na cana-de-açúcar e fragmento de mata, com 311,6 K (38,45°C) e 310,2 K (37,05°C), respectivamente. No mês de novembro, o maior valor médio foi na área irrigada (305,8 K - 32,65°C) e os menores foram na cana-de-açúcar e fragmento de mata, com valores de 303 K (29,85°C) (Figura 4b).

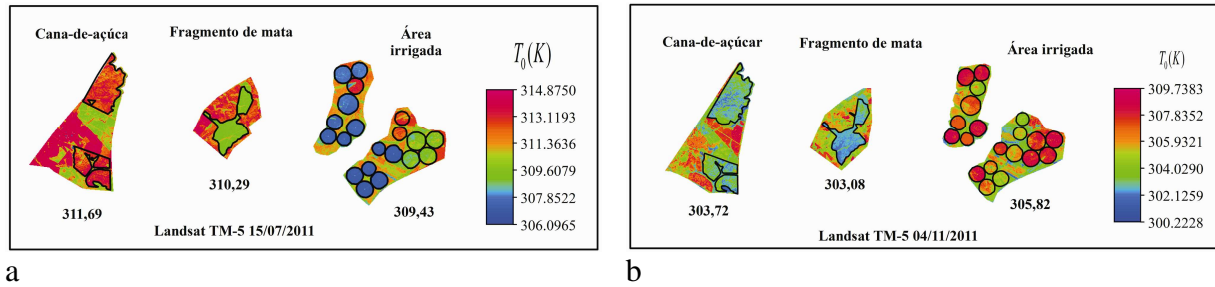


Figura 4. Valores médios de temperatura de superfície (T_0 - K) em diferentes classes de uso e ocupação do solo, com cena de 15/07/2011 (a) e 04/11/2011(b).

Os valores médios diários de saldo de radiação (R_n) para cada tipo de alvo analisado apresentaram-se com valores inferiores no mês de julho (Figura 5a) e superiores no mês de novembro (Figura 5b), devido à sazonalidade da radiação solar de onda curta incidente nos alvos analisados, em julho a radiação solar global ($R_{G\downarrow}$) é inferior ao mês de novembro. Valores mais elevados da radiação líquida são verificados na época em que o sol apresenta-se na posição zenital (outubro/novembro) e em condições de baixa nebulosidade, enquanto os menores acontecem nos períodos em torno do solstício de inverno no hemisfério sul.

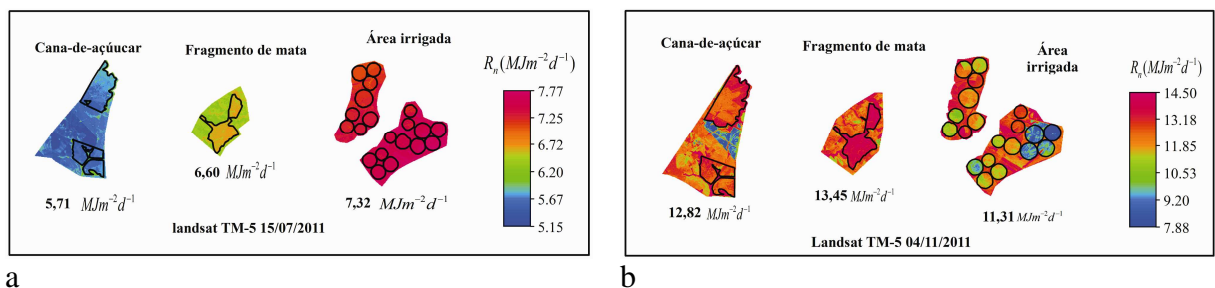


Figura 5. Valores médios de saldo de radiação (R_n) em diferentes classes de uso e ocupação do solo, com cena de 15/07/2011 (a) e 04/11/2011 (b).

No mês de julho, o maior valor médio de fluxo de calor latente (λE) ocorreu na área irrigada ($4,38 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ - $1,78 \text{ mm d}^{-1}$) e o menor valor médio diário de $2,54 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ($1,03 \text{ mm d}^{-1}$) no fragmento de mata (Figura 5a). Na mesma data o valor médio diário de fluxo de calor sensível (H) na área irrigada variou entre valor mínimo de $-2,01 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e valor máximo de $7,43 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Figura 5c). No mês de novembro os valores médios diários de fluxo de calor latente foram superiores, sendo o fragmento de mata com o maior valor médio diário de $18,86 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ($7,69 \text{ mm d}^{-1}$) e o menor valor médio foi de $11,31 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ($4,61 \text{ mm d}^{-1}$) na área irrigada (Figura 5b). O fluxo de calor sensível (H) no mês de novembro foi menor ($1,32 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) na cana-de-açúcar (Figura 5d) e no fragmento de mata com valores médios diários negativos ($-6,21 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e os maior médio diário foi na área irrigada ($5,30 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

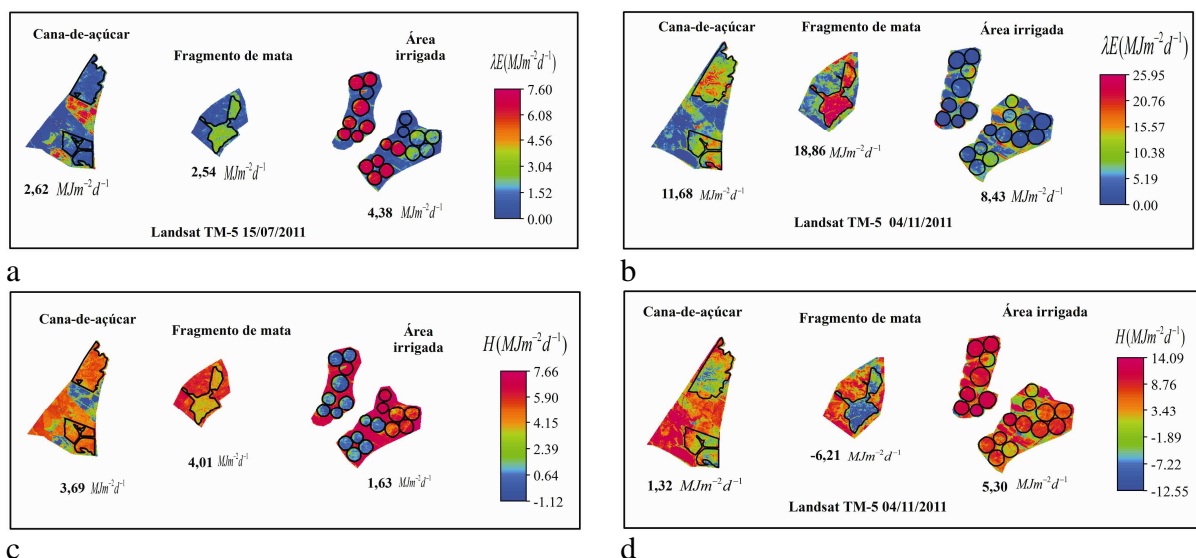


Figura 6. Fluxo de energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo. (a) fluxo de calor latente com cena de 15/07/2011; (b) fluxo de calor latente com cena de 04/11/2011; (c) fluxo de calor sensível com cena de 15/07/2011 e (d) fluxo de calor sensível com cena de 04/11/2011.

No mês de julho a relação $\lambda E/R_n$ para a área irrigada foi de 0,63 e H/R_n de 0,37, isto é, 63% da energia disponível foi utilizada na conversão de calor latente, e 37% convertida em aquecimento (calor sensível). No mês de novembro a relação $\lambda E/R_n$ para a área irrigada foi de 0,80 e a relação H/R_n foi de 0,20, isso pode indicar que a superfície neste período estava umedecida e a maior parte da energia disponível foi utilizada na evapotranspiração e o restante da energia foi utilizada no aquecimento das plantas, do ar e do solo.

No Fragmento de mata houve advecção de calor sensível, pois a relação $\lambda E/R_n$ foi de 138% na data de 04/11/2011 e no mês de julho a relação $\lambda E/R_n$ foi de 41% e a relação de H/R_n com valor de 59%.

Para a cana-de-açúcar a relação $\lambda E/R_n$ no mês de julho foi de 50% e a relação H/R_n foi de 57%, apenas 50% de R_n foi utilizado no processo evapotranspirativo, enquanto que 57% de R_n foi convertido em calor sensível e observa-se que houve aumento na temperatura (311,6 K - 38,45°C). No mês de novembro a relação $\lambda E/R_n$ foi de 100% e a relação H/R_n foi de 0%, indicando que 100% de R_n foi utilizado no processo evapotranspirativo.

4. Conclusões

Os dados de sensoriamento remoto e informações meteorológicas medidas em campo permitiu analisar os componentes do balanço de energia na superfície terrestre em escala regional. Observa-se que os valores de saldo de radiação são dependentes dos valores de radiação solar global incidente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro para a instalação da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista.

Referências Bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998.

Damião, J. O.; Hernandez, F. B. T.; Santos, G. O.; Zocoler, J. L. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira, noroeste paulista. In: CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, XX, 2010, Uberaba. **Anais..** Brasília: ABID, 2010. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_damiaio.pdf>. Acesso em 28 out.2012.

Hernandez, F. B. T.; Souza, S. A. V.; Zocoler, J. L.; Frizzone, J. A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.21-30, 2003.

Lacerda, M. D.; Hernandez, F. B. T.; Franco, R. A. M.; Feitosa, D.G.; Santos, G.O.; Teixeira, A.H.C. Estimativa da radiação solar global no noroeste paulista. In: Inovagri - International Meeting & IV Workshop International de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2012, Fortaleza. **Anais..**Fortaleza: IFCE, 2012. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/winotec2012/Marcos/marcus_winotec.pdf>. Acesso em: 06 out. 2012.

Lima, E. P.; Sedyama, G. C.; Gleriani, J. M.; Soares, V. P.; Delgado, R. C.; Andrade, R. G. Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais..** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 255-262. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.49>>. Acesso em: 28 out. 2012.

Santos, G. O.; Hernandez, F. B. T.; Rosseti, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p.142-149, 2010. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/rbai_v4_n3_p142_149_bh.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2010.

Su, Z. "The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes," **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 6, 85-99,2002.

Teixeira, A. H. de C. Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations. In: Remote Sensing and Hydrology (ed. by C. M. U. Neale & M. H. Cosh), **IAHS Publ.** Wallingford: UK, IAHS Press 352, 2012. P. 154-157.

Teixeira, A. H. de C., Bastiaanssen, W. G. M., Moura, M. S. B., Soares, J. M., Ahmad, M. D. and Bos, M. G. "Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil," **Agr. Forest. Meteorol.** 148, 1524-1537. 2008a.

Teixeira, A.H. de C. Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Moura, M.S.B., Bos, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, p. 110-127, 2008b.

Teixeira, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

Teixeira, A.H. de C., W.G.M., Bastiaanssen, Ahmad, M-ud-D, Bos, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 462-476, 2009.

Universidade Estadual Paulista- UNESP/ FE. **Acesso à base diária:** Marinópolis. Ilha Solteira: UNESP-FE/ Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e Solos – DEFERS- Área de Hidráulica e Irrigação - AHI, 2011. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 15 jun. 2011.