

USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO EM RONDÔNIA

USE OF TECHNIQUES OF REMOTE SENSING IN THE ESTIMATE OF THE NET RADIATION IN RONDÔNIA

Ailton Marcolino Liberato
ailtonliberato@unir.br
Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Bernardo Barbosa da Silva
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica - UFCG

Fernando Luiz Cardoso
Universidade Federal de Rondônia - UNIR

RESUMO: Propôs-se, neste trabalho, estimar dados de saldo de radiação à superfície terrestre usando-se o sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 e compará-lo com dados de uma estação micrometeorológica. A região de estudo esta localizada no estado de Rondônia. Para a realização do estudo obtiveram-se quatro imagens orbitais do satélite Landsat 5 – TM, na órbita 231 e ponto 67, nas datas 13/07/2005, 13/05, 30/06 e 16/07 do ano de 2006, a que correspondem os dias Juliano 194, 133, 181 e 197, respectivamente. As correções geométricas para as imagens foram realizadas e geradas as cartas de saldo de radiação. O algoritmo SEBAL estimou satisfatoriamente os valores de saldo de radiação de superfícies sobre áreas de floresta e pastagem.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Balanço de radiação. SEBAL.

ABSTRACT: This study purpose is to estimate net radiation data at earth surface using the sensor Thematic Mapper (TM) of Landsat 5 and compare it with data from one micrometeorological station. The study area is located in the State of Rondônia. To perform the study four orbital images were obtained from the satellite Landsat 5 - TM in the orbit 231 and in the row 67, for the dates of 07/13/2005, 05/13, 30/06 and 07/16 of the year of 2006, which correspond to the Julian days 194, 133, 181 and 197, respectively. The geometric correction was made for the images and the letters of net radiation were generated. The algorithm SEBAL estimated, satisfactorily, the values of net radiation on the surface pasture and forest.

Keywords: Sensing remote. Radiation budget. SEBAL.

1. INTRODUÇÃO

A região amazônica vem sendo intensamente modificada pela agricultura, pelos sistemas agro-florestais e principalmente pela agropecuária. A transformação de florestas tropicais primárias em pastagens, inicia com o corte da floresta, seguido da queima, introdução de culturas e degradação do solo. Essas mudanças no uso do solo e na cobertura vegetal em áreas da região amazônica, objetivaram-se o surgimento de vários projetos científicos em escala micro e macro para entender a importância da floresta amazônica para o clima local e global, e os possíveis impactos causados pelo desmatamento e queimadas (GASH et al., 1996; ARTAXO et al., 2006).

Os resultados do Projeto ABRACOS – Estudo Anglo-Brasileiro de Observações do Clima da Amazônia (Gash et al., 1996) e Projeto LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, mostraram que áreas de floresta absorvem mais radiação solar que áreas de pastagem e que essa diferença advém majoritariamente do fato que pastagens refletem uma maior proporção da radiação solar incidente quando comparadas a florestas. Estas aprisionam a radiação devido às múltiplas reflexões no profundo dossel. E em média a pastagem reflete 18% da radiação solar, enquanto a floresta reflete somente 13%. Como a floresta é bem ventilada devido aos movimentos turbulentos do ar próximo à superfície, ela é mais fria que a pastagem e, desse modo, emite menos radiação termal. O resultado final é que há, na floresta, mais energia radiativa disponível para evaporar água e aquecer a atmosfera do que na pastagem.

Estudos empregando técnicas de sensoriamento remoto em regiões áridas e semiáridas (Silva et al., 2005; Giongo et al., 2010), apresentaram validação consistente, no entanto, não foram realizados estudos especificamente para a região amazônica. O sensoriamento remoto permite a integração de informações e processos relativos às trocas, entre biosfera e atmosfera, de carbono, gases-traço, água e energia, através de uma ampla gama de escalas geográficas. O *Surface Energy Balance Algoritmo for Land* (SEBAL) desenvolvido por (Bastiaanssen, 1995), têm sido amplamente utilizado, e aceito na comunidade científica, devido à qualidade de suas estimativas comparadas com dados observados.

Durante os últimos anos, grandes avanços foram realizados em algoritmo de sensoriamento remoto; entretanto, um esforço considerável em desenvolvimento e testes ainda é necessário para a validação dos algoritmos nas condições específicas da Amazônia. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estimar o saldo de radiação solar à superfície através do algoritmo SEBAL em Rondônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

As áreas de estudo do presente trabalho compreendem parte da Reserva Biológica do Jaru localizada a margem direita do rio Ji-Paraná (ou Machado) e pastagem (gramínea *brachiaria brizantha*) a margem esquerda do rio Ji-Paraná (Figura 1). A Reserva é composta por floresta tropical primária de terra firme, com dossel variando entre 30 a 45 metros de altura e pertence ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

Renováveis (IBAMA). O retângulo em vermelho na Figura 1 mostra a localização da torre micrometeorológica (10°11'S e 61°52'W, 120m) pertencente ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA).

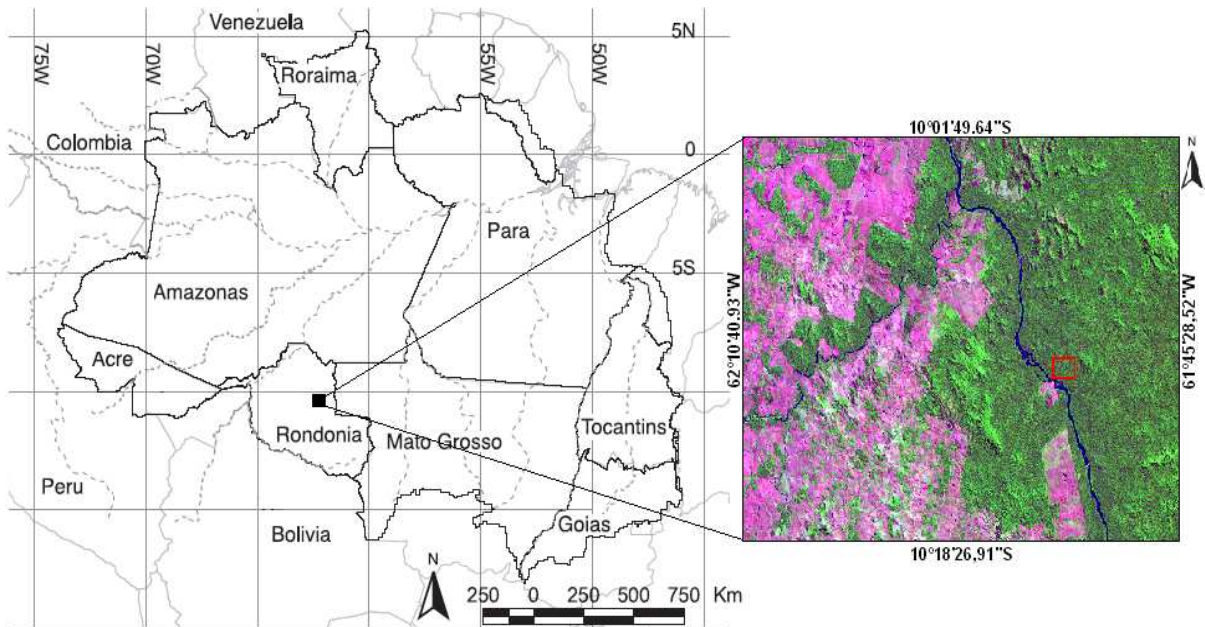


Figura 1. Localização da Área de estudo.

Obtiveram-se, para a realização do estudo, imagens em dias de céu claro, na órbita 231 e ponto 67, correspondente a quatro dias, que são: 13-07-2005, 13-05, 30-06 e 16-07 do ano de 2006, os quais se referem ao dia Juliano (DJ) 194, 133, 181 e 197, respectivamente. As imagens do Landsat 5 – TM foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia.

As imagens Landsat 5-TM são compostas de sete bandas espectrais cujas características estão presentes na Tabela 1, na qual também está incluída a irradiância solar monocromática ($ESUN_{\lambda}$) das bandas reflectivas (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7), incidente sobre uma superfície normal à direção dos raios solares no topo da atmosfera terrestre, e a distância de uma Unidade Astronômica (UA) do sol.

Tabela 1. Descrição de bandas do Mapeador Temático TM do Landsat 5 com os correspondentes limites de bandas, radiância espectral (mínima - $LMIN_{\lambda}$ e máxima $LMAX_{\lambda}$) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera ($ESUN_{\lambda}$).

Banda	Limites de Banda (μm)	Radiância espectral $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$		ESUN_λ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$
		LMIN_λ	LMAX_λ	
1 (Azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV – próximo)	0,76 – 0,90	-1,51	221,0	1036
5 (IV – médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV – termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV – médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Chander & Markham (2003) e Allen et al. (2007)

Em estudos de áreas de inclinação considerável, o ângulo de incidência da radiação solar depende da inclinação da superfície e do seu aspecto, isto é, do azimute normal da superfície; assim, para a área de estudo se obteve o modelo de elevação digital do terreno (DEM), gratuitamente, no site do SRTM (2010) referente ao mosaico x 24 e y 15, após se realizar o *download* do arquivo referente ao local de estudo; foram reamostrados, então, os *pixels*, para 30 x 30 m, visto que os dados do DEM são disponíveis aos *pixels* com uma resolução espacial de 90 x 90 m.

O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e os armazena na forma de níveis de cinza ou intensidade do *pixel* ou, ainda, número digital (ND), cujos valores variam de 0 a 255 (8 bits), com uma resolução espacial de 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e outra de 120 m, na banda 6; desta forma, para a visualização e realização de operações matemáticas intra e interbandas, recortes, classificação e outras operações, utilizou-se o software ERDAS Imagine 8.7.

Métodos

Para determinar a radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), ou seja, a efetivação da calibração radiométrica é realizada em que o número digital (ND) de cada *pixel* da imagem é convertido em radiância espectral monocromática; essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada *pixel*, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida a nível do satélite Landsat (altitude de 705 km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, enquanto a banda 6 para referida radiância representa a energia emitida por cada *pixel*, segundo a equação proposta por Allen et al. (2002).

$$L_{\lambda i} = \left(\frac{\text{LMAX}_\lambda - \text{LMIN}_\lambda}{255} \right) \text{ND} + \text{LMIN}_\lambda \quad (1)$$

em que $LMAX_\lambda$ e $LMIN_\lambda$ são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, Tabela 1); ND é a intensidade do *pixel* (número digital – número inteiro de 0 a 255) e i corresponde às bandas (1, 2, 3,... e 7) do satélite Landsat 5 – TM.

O passo seguinte é determinar a reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), que é definido como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente que é obtida segundo a equação de Allen et al. (2002).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{ESUN_\lambda \cos Z} \quad (2)$$

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $ESUN_\lambda$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA), dada por Iqbal (1983).

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DJ2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

O ângulo zenital foi obtido com a seguinte fórmula.

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

onde: E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

Posteriormente determinou-se o albedo planetário (α_{toa}), que é aquele não ajustado à transmissividade atmosférica a qual, por sua vez, é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas segundo a Eq. 5.

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (5)$$

em que: $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6$ e ρ_7 são as reflectância das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Após a obtenção do albedo planetário fez-se o cômputo do albedo da superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos α , pela Eq. 6.

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que, para condições de céu claro, proposta por Allen et al. (2002) pode ser escrita como a Eq. 7.

$$\tau_{sw} = 0,75 + 0,00002z \quad (7)$$

onde z é altitude de cada pixel.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma entre elas Allen et al. (2007):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (8)$$

em que ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às refletividades das bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM. O IVDN é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde da área e seus valores variam de -1 a +1.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustada aos Efeitos do Solo (SAVI) utilizou-se a expressão Huete (1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (9)$$

em que L é constante, cujo valor mais frequentemente usado é 0,5 Tasumi (2003).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação; o referido índice é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, sendo computado pela seguinte equação empírica Allen et al. (2002):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (10)$$

Como cada *pixel* não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, surge a necessidade de se introduzir a emissividade de cada pixel (ε_{NB}) no domínio espectral da banda termal do Landsat 5 – TM (10,4 a 12,5 μm); por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, deve-se considerar a emissividade de banda larga (ε_o). Segundo Allen et al. (2002) e Tasumi (2003) as emissividades ε_o e ε_{NB} podem ser obtidas para $IVDN > 0$ e $IAF < 3$ com base nas seguintes equações:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (11)$$

$$\varepsilon_o = 0,95 + 0,01IAF \quad (12)$$

Para pixel com $IAF \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_o = 0,98$ e corpos de água ($IVDN < 0$), $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_o = 0,985$ Tasumi (2003).

A temperatura da superfície (T_s), em graus Kelvin, foi determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e ϵ_{NB} através da seguinte expressão Chander & Markham (2003):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{1,6}} + 1\right)} \quad (13)$$

em que K_1 e K_2 são constantes iguais a $607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $1260,56 \text{ K}$, respectivamente.

A radiação de onda longa emitida por cada *pixel* ($R_{L\uparrow}$) e a radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície ($R_{L\downarrow}$), foram obtidas através das equações:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_o \sigma T_s^4 \quad (14)$$

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (15)$$

em que ϵ_o é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), T_s é a temperatura da superfície (K) e ϵ_a é emissividade atmosférica, obtida por: $\epsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,99}$ Allen et al. (2007).

A radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) corresponde ao fluxo de radiação solar (direta e difusa) que atinge a superfície terrestre e que, para condição de céu claro, foi obtida pela expressão Allen et al. (2002):

$$R_{s\downarrow} = S \cos Z d_r \cdot \tau_{sw} \quad (16)$$

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

O saldo de radiação à superfície (Rn) foi computado utilizando-se a seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$Rn = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (17)$$

em que ($R_{s\downarrow}$) é a radiação de onda curta incidente, (α) é o albedo 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_o é a emissividade de cada pixel. As densidades de fluxos $R_{L\uparrow}$, $R_{L\downarrow}$, $R_{s\downarrow}$ e Rn são expressas em Wm^{-2} .

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A distribuição espacial do saldo de radiação instantâneo é apresentada nas Figuras 2A (13/07/2005), 2B (13/05/2006), 2C (30/06/2006) e 2D (16/07/2006). O Rn estimado variou entre 507,56 Wm⁻² a 646,04 Wm⁻² na área de floresta, e 386 a 507 Wm⁻² em área de pastagem. Os valores maiores que 646,04 Wm⁻² foram obtidos em superfícies com água e menores que 386,91 Wm⁻² em áreas com solo exposto (Tabela 2). A Tabela 3 mostra a precisão do algoritmo SEBAL na estimativa do Rn para área de floresta, apresentando erro relativo variando entre 0,7 a 2,0% em relação aos dados observados no instante da passagem do satélite.

Galvão & Fisch (2000), von Randow et al. (2004), Liberato (2006) e Aguiar (2007) analisaram de forma observacional os componentes do balanço de radiação horário na mesma região do presente estudo, comparando os resultados, observa-se que as estimativas de Rn obtidas neste trabalho estão consistente. Galvão & Fisch (2000), von Randow et al. (2004), Liberato (2006) e Aguiar (2007), observaram-se em condições de céu claro, que o saldo de radiação em áreas de floresta e pastagem apresentam seus valores máximos próximo ao meio dia e um maior saldo de radiação em área de floresta.

Nas cartas de Rn (Figura 2) observam-se cor clara em áreas de floresta e cor escura em áreas desmatadas (pastagens e solo exposto). As análises de Rn confirmam que a substituição de floresta por pastagens reduz o saldo de radiação à superfície.

Durante as últimas décadas o crescimento da demanda regional e externa por carne bovina (Faminow, 1997; Margulis, 2004; Arima et al., 2005) e o potencial de expansão de colheitas mecanizadas são as principais ameaças à floresta (Fearnside, 2001; Becker, 2005). Como a Floresta Amazônica é uma importante fonte de energia e umidade para os processos que ocorrem na atmosfera tropical, isso está sendo alterado devido ao desmatamento.

Tabela 2. Valores dos parâmetros estatísticos mínimo, máximo, médio, mediano, moda e desvio padrão (D. PAD), obtidos na análise estatística das cartas de saldo de radiação da superfície.

Data	mínimo	máximo	médio	mediano	moda	D. PAD
13/07/2005	315,0	573,4	483,5	497,7	508,8	33,9
13/05/2006	403,7	723,4	627,1	643,5	654,7	35,1
30/06/2006	314,4	616,2	513,4	528,9	540,7	36,0
16/07/2006	368,9	690,7	579,6	600,2	615,3	43,9

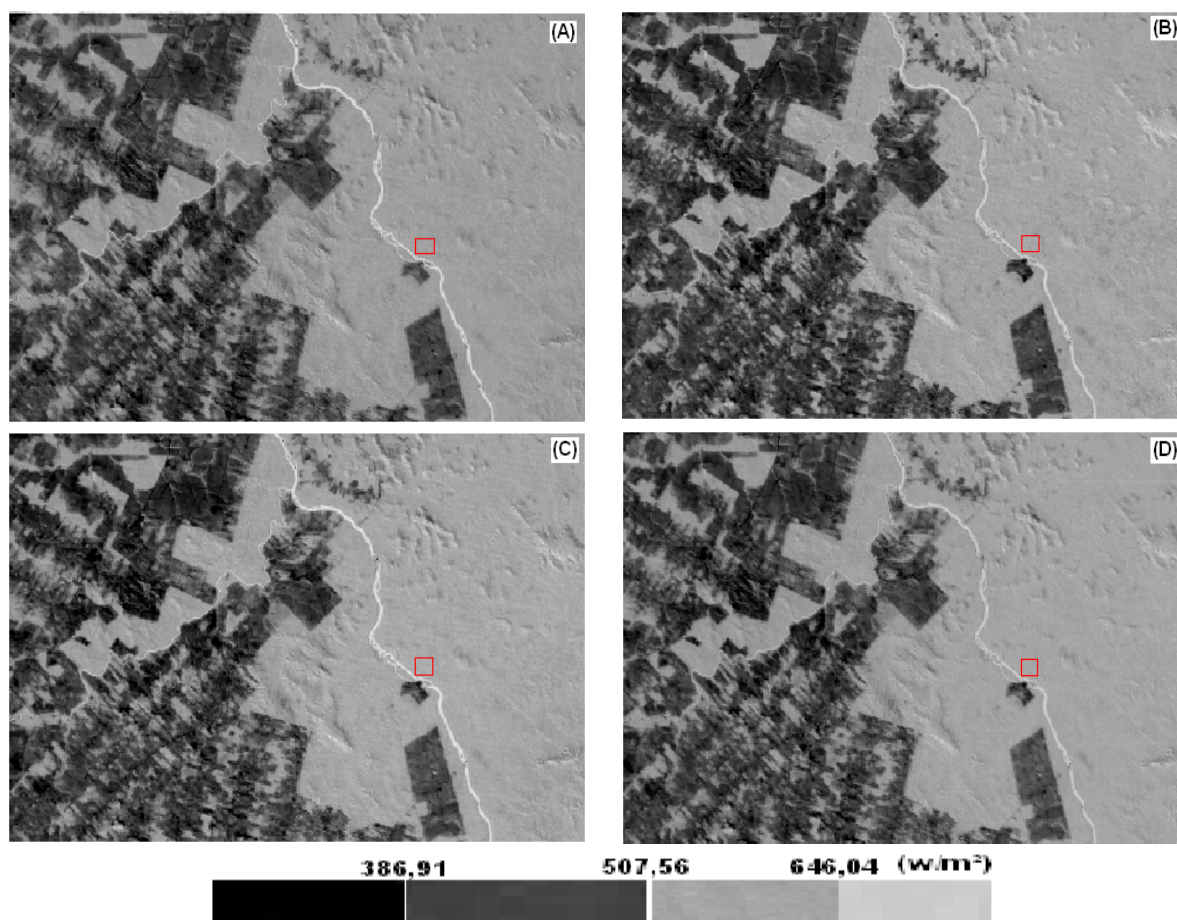


Figura 2. Distribuição espacial do saldo de radiação instantâneo para os dias 13/07/2005 (A), 13/05/2006 (B), 30/06/2006 (C) e 16/07/2006 (D).

Tabela 3. Valores de saldo de radiação – Rn (Wm^{-2}) em área de floresta obtido mediante SEBAL e medição em torre micrometeorológica, com respectivos erros relativos (%).

Data	Rn (Wm^{-2}) - Floresta		
	Estimado	Medido	Erro (%)
13/07/2005	512,7	507,6	1,0
13/05/2006	656,1	660,7	0,7
30/06/2006	545,4	556,3	2,0
16/07/2006	617,8	607,4	1,7

Culf et al. (1996), a partir dos dados coletados pelo Projeto ABRACOS, verificaram que, em média, o saldo de radiação é 11% mais baixo nas áreas de pastagens em relação às áreas de florestas. Essa diferença foi atribuída principalmente ao albedo e, possivelmente, ao saldo de radiação de ondas longas. Fisch (1996) concluiu que a menor transmissividade média

da atmosfera sobre a pastagem em relação à floresta nos meses secos é devido aos efeitos de queimadas e de aerossóis. Segundo este autor, essa redução corresponde a uma diminuição de aproximadamente $3,0 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ de energia incidente na superfície, ou seja, uma diminuição de 70 Wm^{-2} no fluxo instantâneo da radiação solar, que, por sua vez, induz alterações em todos os outros componentes do balanço de energia.

Estudos comparativos do microclima de áreas de floresta tropical nativa com os de pastagens na Amazônia mostram diferenças significativas nas variáveis analisadas (Fisch, 1990; Bastable et al., 1993; Ribeiro, 1994; Reschke, 1996). Em média, a temperatura máxima e o déficit de umidade específica do ar são maiores em áreas desmatadas do que em áreas de florestas, enquanto que a temperatura mínima é menor.

Em área de pastagem existe pouco armazenamento de calor na biomassa. Entretanto, na área de floresta, entre o nascer e o ocaso do sol, há um importante armazenamento de energia pela biomassa (Michiles e Gielow, 2008). A floresta utiliza uma maior quantidade de energia para evaporar e uma pequena quantidade para aquecer o ar; enquanto, na pastagem, a transferência de energia para a atmosfera ocorre equitativamente pelos fluxos de calor latente e sensível durante o período seco.

4. CONCLUSÃO

O algoritmo SEBAL estimou satisfatoriamente o saldo de radiação solar sobre áreas de floresta e pastagem em Rondônia, quando comparado com dados observados à superfície.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. J. G. **Balanço de radiação em áreas de floresta e de pastagem em Rondônia**. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho implementation**. Idaho: Waters Consulting: University of Idaho: WaterWatch, Inc. 2002. 97 p. (Advanced Training and Users Manual, version 1.0)

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M., **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém - PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia, 2005. 75p.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.21, n.3, p.1-22, 2006.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observation of climate, albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed amazonian forest. **International Journal of Climatology**, Inglaterra, v. 13, n.7, p. 783-796, 1993.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate**. 1995. 272f. Thesis (Ph.D. Wageningen Agricultural) - Wageningen University, The Netherlands.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.229, n.1-2, p. 87 - 100, 2000.

BECKER, B. Geopolítica da Amazônia: Dossiê Amazônia Brasileira I. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v.41, n.11, p. 2674 – 2677, 2003.

CULF, A.; ESTEVES, J. L.; MARQUES FILHO, A. O.; ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture Amazonian. In: GASH, J. H.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J.M.; VITORIA, R. L. ed. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. p.175-191.

FAMINOW, M. Spatial economics of local demand for cattle products in Amazon development. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 1-11, 1997.

FEARNSIDE, F. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, Cambridge – UK, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001a.

FISCH, G. Climatic aspects of the Amazonian tropical forest. **Acta Amazonica**, Manaus, n. 20, p. 39-48, 1990.

FISCH, G.; CULF, A. D.; NOBRE, C. A. Modelling convective boundary layer growth in Rondônia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. eds. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996, p. 425-435.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley and Sons, 1996. 595p.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.15, n.2, p.2496-2506, 2000.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R.; NAZARENO, A.C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.279-287, 2010.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index SAVI. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 212p.

LIBERATO, A. M. **Estudo do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem no sudoeste da Amazônia**. 2006. 28f. TCC (Curso de Graduação em Física) – Departamento de Ciências Exatas e da Natureza, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná.

MARGULIS, S. Causes of deforestation in the Brazilian Amazon. Washington, D.C.: **World Bank Paper**, n. 22, 2004, 71p.

MICHILES, A. A. S.; GIELOW, R. Above-ground thermal energy storage rates, trunk heat fluxes and surface energy balance in a central Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, n. 6-7, p. 917-930, 2008.

RESCHKE, G. A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia**. 1996. 51f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, J. B. M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. 1994. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba-SP, v.13, n.2, p.201-211. 2005.

Shuttle Radar Topography Mission - SRTM. **Modelo de Elevação Digital**. Disponível em:<<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>>. Acesso em: 25. mar. 2010.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 2003. 357f. Thesis (Ph.D. Agricultural Engineering) - Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho, Moscow.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon Exchange over Forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v.78, n 1-3, p. 5-26, 2004.