Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro 2014
Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 71 -80

Dinâmica do balanço de energia em larga escala no pantanal mato-grossense, Brasil

Antônio Heriberto de Castro Teixeira [1]
Carlos Roberto Padovani [2]
Ricardo Guimarães Andrade [1]
Janice Freitas Leivas [1]
Daniel de Castro Victoria [1]
Sérgio Galdino [2]

[1] Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303
13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{heriberto.teixeira, ricardo.andrade, janice.leivas, daniel.victoria}@embrapa.br

[2] Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109
79320-970 - Corumbá - MS, Brasil
{carlos.padovani, sergio.galdino}@embrapa.br

Resumo. No Pantanal brasileiro, as inundações destacam a importância da quantificação dos processos de troca de energia e massa entre a superfície e a baixa atmosfera em largas escalas. Imagens MODIS em conjunto com dados agrometeorológicos para o ano de 2012 foram usadas na modelagem dos componentes do balanço de energia em todo o pantanal, extraindo-se posteriormente para análises as sub-regiões de Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia. O algoritmo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) foi aplicado para a obtenção do fluxo de calor latente (λE). O saldo de radiação (R_n) foi estimado através da radiação solar global (R_G), do albedo da superfície (α_0) e da transmissividade atmosférica (τ). Com o fluxo de calor na superfície (G) obtido como uma fração de R_n, o fluxo de calor sensível (H) foi quantificado como resíduo na equação do balanço de energia. As frações da energia disponível (R_n - G) usada como λE foram em média de 65, 50 e 49%, para Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândica. As mais elevadas condições de umidade na primeira sub região, juntamente com advecção horizontal de calor, detectada pelos valores negativos de H, fizeram com que vários pixels no período fora da estação chuvosa ficassem com valores de λE acima de R_n. Tomando-se a fração evaporativa como indicador de umidade, o ecossistema mais úmido foi a Savana Arborizada (SA) com 58% da energia disponível sendo usada como λE, enquanto que o mais seco foi o ecossistema modificado Alteração Antrópica (aa), sendo esta fração 46%.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo de calor no solo.

Abstract. In the Brazilian Pantanal, flood occurrences highlight the importance of quantification of the energy and mass exchange processes between the land surface and the lower atmosphere on large scales. MODIS images were used together with agrometeorological data for 2012 to model the energy balance components in the entire Pantanal, later extracting for analyzes the sub regions Barão de Melgaço, Paiaguás and Nhecolândia. The SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) was applied for the latent heat flux (λE) acquirement. Net radiation (R_n) was estimated through the global solar radiation (R_G), the surface albedo (α_0) and the atmospheric transmissivity (τ). With the ground heat flux (G) obtained as a fraction of R_n, the sensible heat flux (H) could be quantified as a residual in the energy balance equation. The fractions of the available energy (R_n - G) used as λE were 65, 50 and 49%, for Barão de Melgaço, Paiaguás and Nhecolândica. The higher moisture conditions in the first sub region, together with horizontal heat advection, detected by the H negative values, made λE pixel values sometimes larger than those for R_n outside the rainy season. Taking the evaporative fraction as a moisture indicator, the wettest ecosystem was Woody Savannah (WS) with 58% of the available energy partitioned as λE, while the driest one was the modified ecosystem Anthropic Alteration (aa), with this fraction being 46%.

Key-words: remote sensing, latent heat flux, sensible heat flux, soil heat flux.

1. Introdução

O Pantanal mato-grossense é uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, localizado na bacia do Alto Paraguai, América do Sul. Sua área é de aproximadamente 160.000 km^2, com 65% e 35% de seu território situado nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, respectivamente (Junk, 2006).

A região é uma planície aluvial influenciada por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai, compreendendo quatro grandes biomas: Amazônia, Cerrado, Chaco e Mata Atlântica. O rio Paraguai e seus afluentes percorrem o Pantanal, formando extensas áreas inundadas. Devido à baixa declividade desta planície no sentido norte-sul e leste-oeste, a água que cai nas cabeceiras do rio Paraguai, gasta quatro meses ou mais para atravessar todo o Pantanal (Embrapa Pantanal. Instituto SOS Pantanal. WWF - Brasil, 2014).

Nas últimas três décadas, a região vem sofrendo agressões pelo homem. Atualmente, os impactos ambientais e socioeconômicos no Pantanal são bastante evidentes, decorrentes da inexistência de um planejamento que garanta a sustentabilidade dos recursos naturais desse importante bioma. Como consequência, as pressões econômicas, políticas e sociais, estão crescendo, no intuito de aumento da produtividade da região pantaneira com a conservação do meio ambiente.

Por outro lado, o regime de inundações é o fator ecológico mais importante do Pantanal mato-grossense, determinando a dinâmica dos ecossistemas (Adami et al., 2008). As inundações ocorrem tipicamente entre novembro e fevereiro e o período de seca se estende de julho a agosto (Bispo et al., 2013). Esta dinâmica faz com que o monitoramento das trocas de energia e massa entre a superfície e a baixa atmosfera através de medições de campo seja bastante difícil, o que pode ser facilitado com técnicas de sensoriamento remoto por imagens de satélites (Teixeira et al. 2013, 2014a).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi a utilização de imagens MODIS juntamente com estações agrometeorológicas para quantificação dos componentes do balanço energia em larga escala no pantanal mato-grossense, com ênfase nos ecossistemas das sub- regiões do Barão do Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia. A modelagem pode subsidiar critérios para o monitoramento da dinâmica dos recursos naturais nas condições das alterações da cobertura vegetal causadas pelos eventos de inundação e antrópicos.

2. Material e Métodos

A **Figura 1** apresenta a localização do Pantanal nos estados brasileiros do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, juntamente com as estações agrometeorológicas utilizadas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e as classes de cobertura de superfície e uso da terra consideradas nas sub-regiões de Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia.

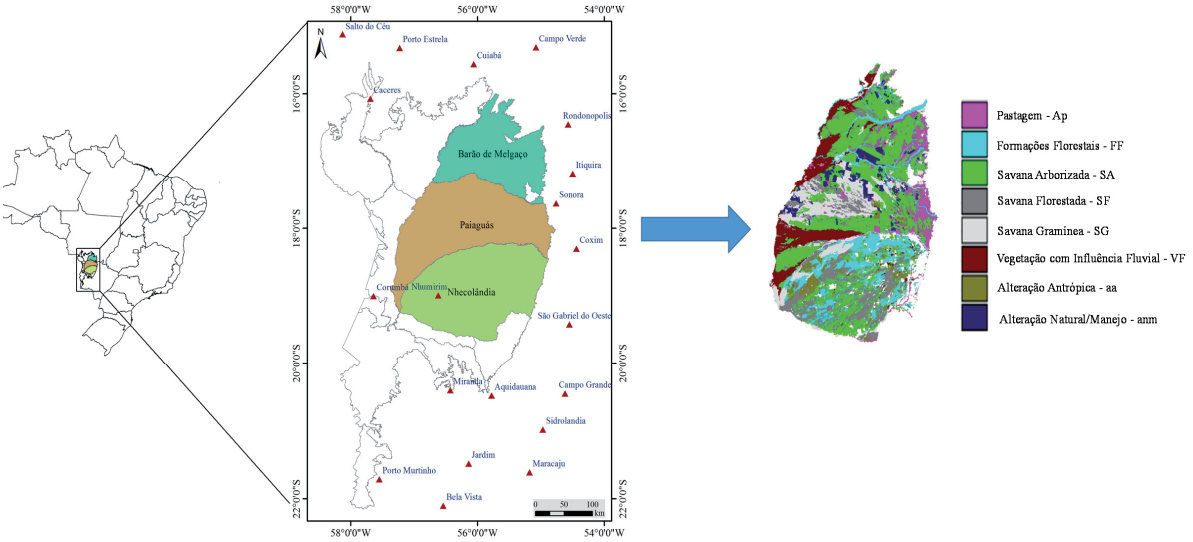

Figura 1. Localização do Pantanal nos estados brasileiros do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, juntamente com as estações agrometeorológicas utilizadas e os ecossistemas considerados nas sub-regiões de Barão de do Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia (http://usoeocupacaobap.org/WWFUpload/Download.aspx).

Os ecossistemas do Pantanal são caracterizados por cerrados e cerradões sem alagamento periódico, campos inundáveis e ambientes aquáticos. O clima é quente e úmido no verão, e seco no inverno. Os solos na sua maioria são arenosos, suportando pastagens nativas e introduzidas. Onze ecossistemas são identificados, cada um com características próprias de solo, vegetação e clima: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque e Porto Murtinho (Embrapa Pantanal. Instituto SOS Pantanal. WWF - Brasil, 2014).

Os balanços de radiação e energia foram realizados em todo o Pantanal e as sub-regiões Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia foram extraídas para análises. As imagens do sensor MODIS forneceram a reflectância da superfície para as bandas 1 (α_1) e 2 (α_1). Foi utilizado o produto MODIS MOD13Q1, que fornece imagens compostas temporais, com redução da cobertura de nuvens, em intervalos de 16 dias totalizando 23 imagens para cada banda no ano de 2012.

Para o cálculo do albedo da superfície (α_0) a seguinte equação foi aplicada (Valiente et al. 1995):

$$\alpha_0 = a + b\alpha_1 + c\alpha_2 \quad (1)$$

onde a, b e c são coeficientes de regressão, os quais foram considerados como 0,08, 0,41 and 0,14 (Teixeira et al., 2013, 2014a,b).

Na obtenção da temperatura da superfície (T_S), esta foi estimada pelo resíduo no balanço de radiação diário (Teixeira et al., 2014b):

$$T_S = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \varepsilon_A \sigma T_a^{\,4} - R_n}{\varepsilon_S \sigma}} \tag{2}$$

onde R_G e T_a são, respectivamente, os valores diários da radiação solar global e temperatura média do ar medidas nas estações agrometeorológicas; R_n é o saldo de radiação diário; ε_S e ε_A são, respectivamente, as emissividades da superfície e da atmosfera; e σ é a constante de Stefan-Boltzmann (5.67 x 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}).

ε_S e ε_A foram calculadas como segue (Teixeira, 2010; Teixeira et al., 2014a):

$$\varepsilon_S = a_S\, h\ \ \mathrm{NDVI} + b_S \tag{3}$$

$$\varepsilon_A = a_A \left(-h\ \ \tau\right)^{b_A} \tag{4}$$

onde τ a transmissividade atmosférica calculada como a razão de R_G para a radiação incidente no topo da atmosfera; NDVI é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; e a_S, b_S, a_A e b_A são coeficientes de regressão considerados sendo 0,06, 1,00, 0,94 e 0,10 de acordo com Teixeira (2010) e Teixeira et al. (2014a).

R_n foi obtido pelos valores diários do saldo de radiação de ondas curtas através da equação de Slob (Teixeira et al, 2013, 2014a):

$$R_n = \left(1 - \alpha_0\right) R_G - \ a_L \tau \tag{5}$$

onde o coeficiente de regressão a_L foi distribuído espacialmente através da sua relação com a temperatura do ar (Teixeira et al., 2013; 2014a).

Com o modelo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*), obteve-se a evapotranspiração, a qual foi transformada em fluxo de calor latente (λE) (Teixeira et al., 2013, 2014a,b):

$$\frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp\left[a_S + b_S \left(\frac{T_0}{\alpha_0 \mathrm{NDVI}} \right) \right] \right\} \frac{ET0_{ano}}{5} \tag{6}$$

onde ET0 é a grade da evapotranspiração de referência obtida das estações agrometeorológicas da Figura 1, calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e a_S e b_S são os coeficientes originais 1.9 e - 0.008 (Teixeira et al., 2014a), respectivamente. O fator de correção ($ET0_{ano}$/5) foi aplicado, onde $ET0_{ano}$ é a grade de evapotranspiração de referência anual para o pantanal em 2012, e 5 mm é o valor de ET0ano para o período de modelagem na região semi-árida de origem.

Para os valores diários do fluxo no interior da superfície (G), a equação derivada por Teixeira (2010) foi aplicada:

$$\frac{G}{R_n} = a_G \exp(b_G \alpha_0) \tag{7}$$

onde os valores de a_G e b_G de 3,98 d -25,47 são os coeficientes de regressão.

O fluxo de calor sensível (H) foi então estimado como resíduo na equação do balanço de energia (Teixeira et al, 2014a):

$$H = R_n - \lambda E - G \tag{8}$$

3. Resultados e Discussão

As condições climáticas afetam o balanço de energia. A Figura 2 apresenta as médias dos pixels e desvios padrões (DP) da precipitação (Prec) e da evapotranspiração de referência (ET0) nas sub-regiões destacadas do Pantanal mato-grossense analisadas durante o ano de 2012, considerando-se os intervalos de 16 dias, em termos de dia Juliano (DJ).

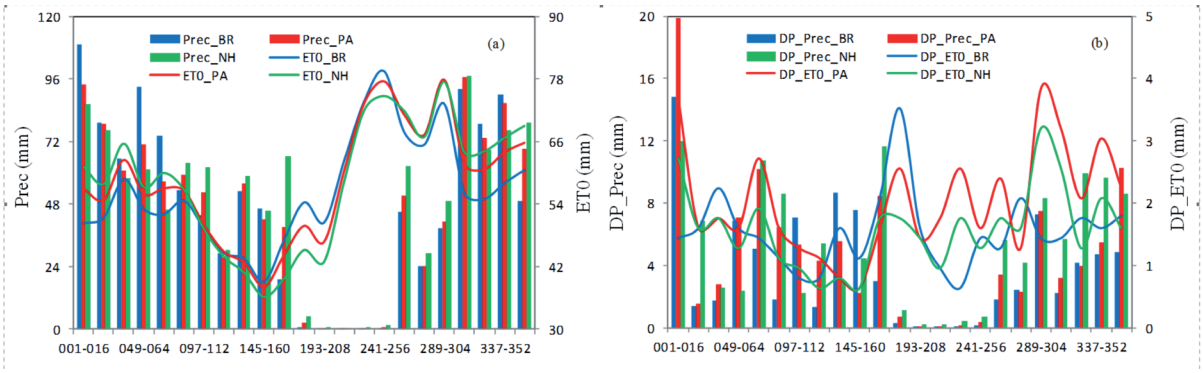

Figura 2. Balanço hídrico climático ao longo do ano de 2012 nas sub-regiões de Barão de Melgaço (BR), Paiaguás (PA) e Nhecolândia (NH) do Pantanal mato-grossense. (a) médias dos totais de precipitação (Prec) e dos totais de evapotranspiração de referência (ET0); (b) desvios padrões da precipitação (DP_Prec) e da evapotranspiração de referência (DP_ET0).

Os dados utilizados na **Figura 2** foram resultantes do processo de interpolação das estações mostradas na **Figura 1**, onde a ET0 foi calculada seguindo o modelo padronizado de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

De acordo com a Figura 2a, considerando-se Prec, percebe-se uma concentração dos eventos de chuvas no período de janeiro a abril (DJ 001 a DJ 096) e de outubro a dezembro (DJ 305 a DJ 366), com os maiores valores de DP (Figura 2b) ocorrendo nestes períodos e menores nas condições mais secas (DJ 193 a 256). Mesmo após o período chuvoso normal da região (final de março), chuvas atípicas ocorreram entre DJ 129 a 160, o que afetou a partição de energia no início do período normalmente mais seco. Nhecolândia (NH) teve os maiores valores pluviométricos, com total anual de 1130 mm, mas com uma maior variação espacial, verificadas pelos elevados valores de DP. Barão de Melgaço (BA) e Paiaguás (PA) apresentaram valores anuais de Prec em torno de 1085 mm ano^{-1}, diferenciando-se, porém na variação espacial, com médias de DP de 3,8 e 4,8 mm ano^{-1}, respectivamente.

Com relação a ET0, diferenças significativas são observadas ao longo do ano nas três sub-regiões com relação aos valores médios absolutos (**Figura 2a**), porém com menores valores de

DP em relação à Prec, apresentando alternâncias de alguns picos ao longo do ano. O período de menor demanda atmosférica coincidiu com o final da estação chuvosa, sendo que após esta, um contínuo incremento nos valores de ET0 é observado, o que contribuiu para elevação de λE no início do período climaticamente mais seco da região. Das três sub-regiões analisadas, a Barão de Melgaço (BR) teve a menor demanda atmosférica, com valor anual de ET0, em torno de 1302 mm, enquanto que Paiaguás (PA) e Nhecolândia (NH) apresentaram valores anuais em torno de 1342 mm. Os valores de Prec representaram de 81 (PA) a 84% (BR e NH) daqueles para ET0, porém os com pequenos valores de DP para ET0 em todas as sub-regiões, entre 1,5 a 2,0 mm ano^{-1}.

A **Figura 3** apresenta a distribuição espacial do saldo de radiação diário (R_n) para todo o Pantanal mato-grossense, considerando-se os diferentes períodos de 16 dias ao longo do ano de 2012.

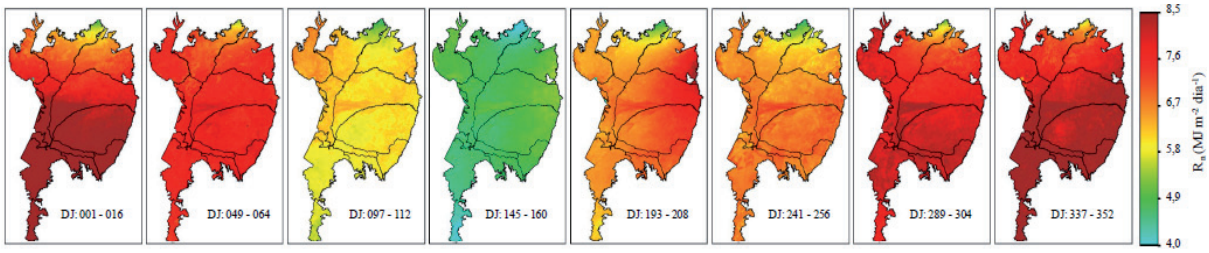

Figura 3. Saldo de radiação diário (R_n) durante o ano de 2012, no pantanal mato-grossense.

Os valores de R_n dependeram mais fortemente dos níveis de radiação solar do que das condições hídricas e da vegetação, ficando em torno de 0,50 de R_G, similarmente aos valores encontrados em pantanais por Hughes et al. (2001) na Austrália. As maiores variações espaciais, com DP acima de 0,40 MJ m^{-2} dia^{-1} aconteceram no período chuvoso. Os fluxos de calor latente (λE), sensível (H) no interior da superfície (G) foram determinados espacialmente para todo o Pantanal mato-grossense, considerando-se a escala de tempo de 16 dias ao longo do ano (Figura 4).

Através da variação espacial de λE, maiores distinções entre os ecossistemas podem ser verificadas, dependendo da época do ano (Figura 4a). Valores acima de 5,5 MJ m^{-2} dia^{-1} (coloração amarelada a avermelhada) ocorrem com maior frequência de janeiro a março (DJ 001 a DJ 097) e de outubro a dezembro (DJ 289 – DJ 366). Como resultado das precipitações atípicas que ocorreram de maio a junho (DJ 129 a DJ 176), observam-se elevados valores também no meio do ano, de junho a julho, quando as chuvas intensas aliadas ao aumento da demanda atmosférica (ver **Figura 2a**) aumentaram as taxas de transferência de vapor d'água para a atmosfera.

Também pelos valores de H, podem-se identificar as diferentes partições de R_n de acordo com os tipos de ecossistemas (**Figura 4b**). Neste caso os mais baixos correspondem a menores fluxos de vapor d'água para atmosfera, com os limites inferiores acontecendo após o período chuvoso, de maio a julho, e os maiores sendo verificados na estação chuvosa de agosto a outubro. Valores negativos nestas condições indicam advecção de calor das regiões mais quentes e secas para aquelas mais frias e úmidas, chegando a -2,0 MJ m^{-2} dia^{-1}, em alguns casos no meio do ano.

Outro parâmetro do balanço de energia que também evidenciou diferenças entre os ecossistemas do pantanal foi G, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 4c. Neste caso além das épocas do ano os valores são fortemente determinados pelas condições hídricas e do tipo de ecossistema, diferentemente das regiões semiáridas do Brasil, aonde na maioria dos casos se aproxima de zero no período de 24 horas (Teixeira et al., 2014a). As épocas do ano de

maiores e menores magnitudes são similares àquelas para H.

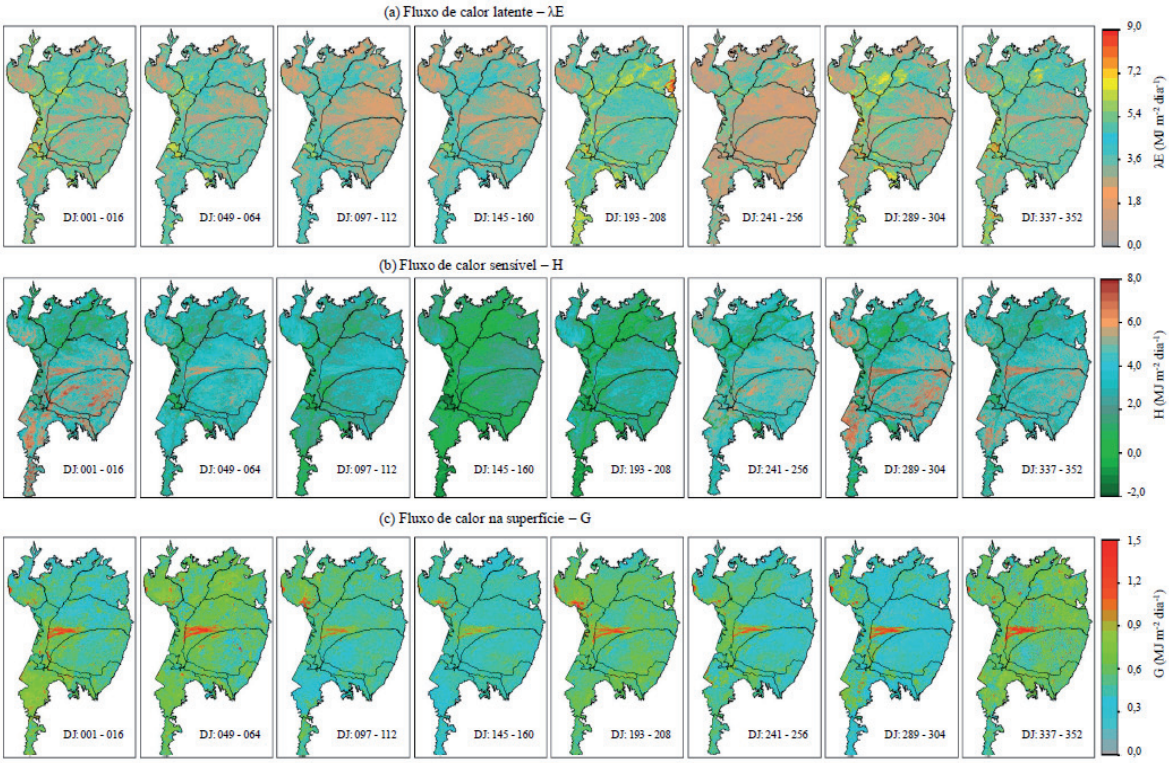

Figura 4. Balanço de energia diário durante o ano de 2012, no Pantanal mato-grossense. (a) fluxo de calor latente – λE; (b) fluxo de calor sensível – H; e (c) fluxo de calor no interior da superfície (G).

Os valores quadrimestrais e anuais médios e desvios padrões dos componentes do balanço de energia para as sub-regiões do pantanal mato-grossense Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia em 2012, são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Médias quadrimestrais e anuais dos componentes do balanço de energia no pantanal mato-grossense nas sub-regiões do Barão do Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (λE); fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no interior da superfície (G).

Quadrimestre/ Ano	R_n (MJ m^{-2} d^{-1})	λE (MJ m^{-2} d^{-1})	H (MJ m^{-2}d^{-1})	G (MJ m^{-2} d^{-1})
Barão de Melgaço				
Janeiro - Abril	6,90 ± 0,34	4,04 ± 1,06	2,36 ± 1,05	0,50 ± 0,16
Maio - Agosto	6,04 ± 0,45	4,14 ± 1,21	1,43 ± 0,95	0,48 ± 0,12
Setembro - Dezembro	7,37 ± 0,36	3,82 ± 1,31	2,77 ± 1,28	0,46 ± 0,17
Ano	**6,74 ± 0,38**	**4,00 ± 1,19**	**2,16 ± 1,08**	**0,48 ± 0,15**
Paiaguás				
Janeiro - Abril	7,37 ± 0,30	3,41 ± 1,28	3,39 ± 1,23	0,57 ± 0,25
Maio - Agosto	6,18 ± 0,33	3,26 ± 1,08	2,42 ± 0,96	0,51 ± 0,19
Setembro - Dezembro	7,64 ± 0,35	3,15 ± 1,41	3,97 ± 1,39	0,52 ± 0,29
Ano	**7,04 ± 0,33**	**3,27 ± 1,25**	**3,23 ± 1,18**	**0,52 ± 0,24**
Nhecolândia				
Janeiro - Abril	7,61 ± 0,23	3,51 ± 1,11	3,57 ± 1,10	0,53 ± 0,18
Maio - Agosto	6,13 ± 0,28	3,13 ± 0,93	2,55 ± 0,89	0,46 ± 0,13
Setembro - Dezembro	7,93 ± 0,28	3,18 ± 1,23	4,27 ± 1,23	0,48 ± 0,20

Ano				
	7,19 ± 0,26	**3,28 ± 1,08**	**3,43 ± 1,07**	**0,49 ± 0,17**

O quadrimestre com maior energia disponível nas três sub-regiões é de setembro a dezembro, porém, de acordo com os valores de DP, a maior variação espacial de R_n ocorre de maio a agosto em Barão do Melgaço. Os maiores valores de λE acontecem no primeiro quadrimestre do ano em Paiaguás e Nhecolândia, entretanto isto aconteceu no segundo em Barão do Melgaço. Esta última sub-região apresenta a maior taxa de transferência de vapor d'água para a atmosfera, porém a maior variação espacial de λE é para Paiaguás de setembro a dezembro. As frações de R_n usadas como λE variaram de 0,40, no último quadrimestre em Nhecolândia, para 0,69 no segundo quadrimestre em Barão de Melgaço. Estes resultados indicam que no período após as chuvas a umidade na zona das raízes estava elevada e que as condições mesoclimáticas nos ecossistemas da última sub-região favorecem mais as taxas evapotranspiratórias que nas outras analisadas.

Considerando-se os valores de H para cada sub-região da Tabela 1, os maiores valores aconteceram no terceiro quadrimestre em Nhecolândia, quando representou 54% de R_n. No segundo quadrimestre em Barão do Melgaço, H/R_n foi a mais baixa de 0,24. Comparando-se os valores anuais das três sub-regiões, Nhecolândia apresenta-se como a mais seca, com os valores médios anuais de H representando 47% de R_n, enquanto que as condições mais úmidas de Barão do Melgaço resultam em uma H/R_n média anual de 0,33.

Estimando-se G, como uma fração de R_n (Teixeira, 2010), pôde-se também avaliar e comparar as magnitudes deste parâmetro do balanço de energia entre as sub-regiões do pantanal abordadas. Apesar de serem constatados valores chegando até 1,5 MJ m^{-2} dia^{-1} pela Figura 4c em algumas poucas áreas do pantanal, como no caso do ecossistema "Vegetação com Influência Fluvial – VF" (ver **Figuras 1 e 4c)**, os valores médios anuais foram baixos, com as frações G/R_n variando de 7 a 8%, sem distinções entre as sub-regiões nesta escala de tempo.

Os valores médios diários e desvios padrões dos componentes do balanço de energia na escala anual para as diferentes classes dos principais ecossistemas, de acordo com Embrapa Pantanal. Instituto Sos Pantanal. WWF - Brasil (2014), nas sub-regiões do pantanal Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia em 2012, são apresentados na **Tabela 2.**

Tabela 2. Médias anuais dos componentes do balanço de energia no pantanal mato-grossense para cada classe de ecossistema nas sub-regiões do Barão do Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (λE); fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor no interior da superfície (G), e fração evaporativa [$Ef = \lambda E/(R_n - G)$].

Classes	R_n (MJ m^{-2} d^{-1})	λE (MJ m^{-2} d^{-1})	H (MJ m^{-2} d^{-1})	G (MJ m^{-2} d^{-1})	Ef (-)
Ap	7,02 ± 0,32	3,62 ± 0,88	2,81 ± 0,93	0,59 ± 0,11	0,56
FF	7,08 ± 0,29	3,61 ± 0,97	2,83 ± 1,09	0,64 ± 0,11	0,56
SA	6,93 ± 0,33	3,64 ± 0,90	2,64 ± 1,00	0,65 ± 0,11	0,58
SF	7,08 ± 0,28	3,23 ± 0,94	3,22 ± 1,05	0,63 ± 0,12	0,50
SG	6,97 ± 0,22	3,39 ± 0,85	2,94 ± 0,86	0,64 ± 0,11	0,54
VF	6,92 ± 0,46	3,43 ± 1,49	2,67 ± 1,59	0,82 ± 0,21	0,56
aa	7,04 ± 0,26	2.99 ± 0.75	3,48 ± 0,82	0,57 ± 0,10	0,46
anm	6,81 ± 0,24	3,23 ± 0,69	3,02 ± 0,76	0,56 ± 0,09	0,52

*Os símbolos **Ap**, **FF**, **SA**, **SF**, **SG**, **VF**, **aa** e **anm** significam respectivamente as classes Pastagem, Formações Florestais, Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramínea, Vegetação com Influência Fluvial, Alteração Antrópica e Alteração Natural/Manejo

Os maiores valores de R_n são para Formações Florestais (FF) e Savana Florestada (SF), enquanto que o menor valor médio é para a classe Alteração Natural/Manejo. Entretanto todas as classes de ecossistemas com valores em torno de 7,0 MJ m^{-2} dia^{-1}, portanto sem diferenças significativas. No caso de λE, os maiores e menores fluxos são respectivamente para Savana Arborizada (SA) e Alterações Antrópicas (aa), correspondendo inversamente aos menores e maiores valores de H. Analisando-se a Figura 1 e as Tabela 1 e 2 percebe-se que os maiores valores de λE em Barão de Melgaço são devidos a uma maior concentração do ecossistema SA.

Considerando-se os valores de G, as diferenças ficam mais visíveis entre os extremos das classes anm e VF, representando uma diferença de 50% entre os valores anuais médios. As maiores variações espaciais, de acordo com os valores de DP, em todos os componentes do balanço de energia são para o ecossistema VF, com destaque para H, cujo DP representou 60% do valor anual médio. De acordo com Moraes et al. (2013), o ano de 2012 foi considerado atípico no pantanal, com declínio no nível da água de muitos rios, ocorrendo a maior redução de áreas alagadas desde 2000 em torno de 75%, o que pode ter ocasionado valores mais baixos de λE e maiores valores de DP no ecossistema VF.

Com relação a fração evaporativa (E_f) nas diferentes superfícies, o ecossistema mais úmido foi a Savana Arborizada (SA) com 58% da energia disponível sendo usada com λE, enquanto que o mais seco foi o ecossistema modificado Alteração Antrópica (aa), com λE representando 46% da energia disponível.

4. Conclusões

O uso conjunto do sensoriamento remoto com dados de estações agrometeorológicas permitiu a quantificação e análises em larga escala dos componentes do balanço de energia no pantanal mato-grossense, Brasil. O saldo de radiação (R_n) é mais fortemente influenciado pela radiação solar incidente, do que pelas características dos diferentes ecossistemas naturais ou modificados. Foi demonstrado que os fluxos diários de calor latente (λE), calor sensível (H) e de calor no interior da superfície (G) podem ser estimados com utilização apenas das radiações nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo do sensor MODIS, através da modelagem da razão da evapotranspiração atual para a de referência no momento da passagem do satélite. Considerando-se o ano de 2012 e separando-se as sub-regiões Barão de Melgaço, Paiaguás e Nhecolândia, observou-se que, na escala anual, os maiores valores de λE aconteceram na primeira sub-região, enquanto que os mais elevados para H foram na última sub-região e com relação à G, maiores taxas foram observados em Paiaguás, devido a uma maior área com a classe Vegetação com Influência Fluvial (VF). Considerando-se os diferentes ecossistemas predominantes nestas três sub-regiões, os maiores valores de λE aconteceram nas classes "Savana Arborizada (SA)", enquanto que os mais elevados para H foram para a classe Alterações Antrópicas (aa). Em algumas ocasiões, advecções de calor das áreas mais secas e quentes para aquelas mais úmidas foram constatadas no meio do ano, através dos valores negativos de H e de λE mais elevados que R_n. Com relação à G que costuma ser desprezado na escala de tempo diária, os limites em seus valores revelaram uma diferença de 50% entre a classe com valores superiores "Vegetação com Influência Fluvial (VF)" e a de valores inferiores Alteração Manejo/Natural (anm). Tomando-se a fração evaporativa como indicador de umidade nas diferentes superfícies, o ecossistema mais úmido foi a Savana Arborizada (SA) com 58% da energia disponível sendo usada com fluxo de calor latente, enquanto que o mais seco foi o ecossistema modificado Alteração Antrópica (aa), com 46%. Os modelos utilizados na atual pesquisa se mostraram com sensibilidade suficiente para detectar as trocas energéticas nos diferentes ambientes do pantanal

mato-grossense, podendo contribuir, através da sua implementação e operacionalização, para o monitoramento das alterações ambientais nas condições de fragilidade dos diferentes ecossistemas de todo o pantanal.

4. Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização dos dados climáticos.

5. Referências

Adami, M.; Freitas, R. M. de; Padovani, C. R.; Shimabukuro, Y. E.; Moreira, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1371-1378, 2008.

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).

Bispo, R. C.; Petrini, M. A.; Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V. Supervised classification applied to vegetation in the Barão de Melgaço municipality (Mato Grosso state, Brazil), using MODIS imagery. **Geografia**, v. 38, p. 9-23, 2013.

Embrapa Pantanal. Instituto SOS Pantanal. WWF - BRASIL. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso da terra na bacia do alto rio Paraguai: Porção Brasileira: período de analise: 2010 to 2012. Brasília, 2014. 73p.

Hughes, C. E.; Kalma, J. D.; Binning, P.; Willgoose, G. R.; Vertzonis, M. Estimating evapotranspiration for a temperate salt marsh Newcastle, Australia. **Hydrological Processes** v. 15, p. 957-975, 2001.

Junk, W. J.; Cunha, C. N.; Wantzen, K.M.; Petermann, P.; Strüssmann, C.; Marques M. I.; Adis, J. Bopdiversity and its conservation in the pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatica Sciences**, Basel, v. 68, p. 278-309, 2006.

Moraes, E. C.; Pereira, G.; Cardoso, F. da S. Evaluation of reduction of Pantanal wetlands in 2012. **Geografia**, v. 38, p. 81-93, 2013.

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

Teixeira, A. H. de C.; Scherer-Warren, M.; Hernandez, F. B. T.; Andrade, R. G.; Leivas, J. F.; Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. **Remote Sensing**, v. 11, 5783-5804, 2013.

Teixeira, A. H. de C.; Hernandez, F. B. T.; Lopes, H. L.; Scherer-Warren, M.; Bassoi, L. H. A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agro-ecosystems in Brazil. In: George G. Petropoulos. (Org.). Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. 1ed.Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, p. 169-191, 2014a.

Teixeira, A. H. de C.; Hernandez, F. B. T. ; Andrade, R. G. ; Leivas, F. L.; Victoria, D. de C. ; Bolfe, E. L. Irrigation performance Assessments for corn crop with Landsat mages in the São Paulo state, Brazil. In: II International INOVAGRI meeting, 2014b, Fortaleza. **Proceedings** … Fortaleza: INOVAGRI, p. 739-748.

Valiente, J. A.; Nunez, M.; Lopez-Baeza, E.; Moreno, J. F. Narrow-band to broad-band conversion for Meteosat visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and -2 channels. **International Journal of Remote Sensing**, 16, 1147-1166, 1995.