



MODELAGEM DA DINÂMICA DO BALANÇO DE ENERGIA COM IMAGENS LANDSAT 8 NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO-BA

Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹; Janice Freitas Leivas² & Gustavo Bayma-Silva³

RESUMO – Cinco imagens Landsat 8, foram usadas em conjunto com uma rede de oito estações agrometeorológicas para a modelagem do balanço de energia nos diferentes agros-ecossistemas sob diferentes condições termo hídricas no município de Juazeiro, Estado da Bahia (BA), Nordeste do Brasil. O algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) foi usado para a estimativa do fluxo de calor latente (λE); o saldo de radiação (R_n) foi obtido pela equação de Slob; o fluxo de calor no solo (G) foi considerado como uma fração de R_n ; e o fluxo de calor sensível (H) foi estimado por resíduo na equação do balanço de energia. R_n foi mais fortemente influenciado pelos níveis de radiação solar que pelas características dos diferentes agros-ecossistemas. As frações médias de λE , H e G para R_n foram de 22, 75 e 3%, considerando-se toda a área municipal. Em algumas ocasiões, dentro das áreas irrigadas, evidenciaram-se advecção de calor proveniente das áreas mais secas nas vizinhanças das culturas irrigadas, promovendo λE maior que R_n e valores negativos de H . As análises em larga escala realizadas no município de Juazeiro-BA são relevantes para o manejo racional dos recursos hídricos nas condições de mudanças de uso da terra.

ABSTRACT– Five Landsat 8 images were used together with a net of eight agrometeorological stations for modelling the energy balance in the mixed agro-ecosystems under different thermohydrological conditions in the Juazeiro municipality, Bahia state (BA), Brazil. The SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) algorithm was used for estimating the latent heat flux (λE); the net radiation (R_n) was retrieved through the Slob equation; soil heat flux was considered as a fraction of R_n ; and the sensible heat flux (H) was estimated by residue in the energy balance equation. R_n was stronger influenced by the solar radiation levels than the agro-ecosystem characteristics. The average ratios of λE , H and G to R_n were de 22, 75 e 3%, considering the municipality area. In some occasions, inside the irrigated areas, it was detected horizontal heat advection, coming from the driest areas at the vicinities of the irrigated crops, increasing λE above R_n with the H values becoming negative. The large scale analyses carried out in the Juazeiro-BA municipality are relevant for the rational water resources management under the land use change conditions.

Palavras-Chave – Fluxo de calor sensível; fluxo de calor sensível; fluxo de calor no solo.

1) Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas-SP, fone (19) 32116200, fax (19) 321 6222

2) Embrapa Monitoramento por Satélite. e-mail: janice.leivas@embrapa.br

3) Embrapa Monitoramento por Satélite. e-mail: gustavo.bayma@embrapa.br

INTRODUÇÃO

O município de Juazeiro, Estado da Bahia, localizado na região semiárida do Nordeste do Brasil, é atualmente, um importante polo agrícola, devido ao desenvolvimento das tecnologias de irrigação aplicadas em fruteiras nas vizinhanças do Rio São Francisco. Nas atuais condições de rápidas mudanças de uso da terra, o uso do sensoriamento remoto com imagens de satélites para a quantificação dos componentes do balanço de energia em larga escala é muito relevante (Teixeira *et al.*, 2014). Vários algoritmos têm sido desenvolvidos para quantificação destes componentes em larga escala, apresentando vantagens e desvantagens, como por exemplo, o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) (Bastiaansen *et al.*, 1998, que pode ser aplicado em vários ecossistemas sem a necessidade da classificação da vegetação, o que é difícil de ser realizada em agros-ecossistemas mistos.

Embora o SEBAL tenha sido calibrado e validado com dados de balanço de energia realizado em campo, apresentando bom desempenho no Nordeste do Brasil (Teixeira *et al.*, 2009), a maior dificuldade para a sua operacionalidade é a necessidade da seleção de um pixel onde o fluxo de calor latente (λE) seja zero, pois durante a estação chuvosa, todos os agros-ecossistemas estão homoganeamente úmidos. Com o desenvolvimento do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) este problema foi contornado e a sua simplicidade aumenta a possibilidade de operacionalização do uso de imagens de satélites com diferentes resoluções na obtenção dos componentes do balanço de energia (Teixeira, 2010; Teixeira *et al.*, 2014)..

O objetivo deste trabalho foi a aplicação do SAFER com imagens do satélite Landsat 8 obtidas nos anos de 2014 e 2015, em conjunto com uma rede de estações agrometeorológicas para a quantificação e análises da dinâmica dos componentes do balanço de energia em diferentes condições termo hídricas no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil. Os resultados podem subsidiar critérios para decisões políticas quando se almeja o manejo racional dos recursos hídricos nas condições atuais de mudanças climáticas e de uso da terra em conjunto com a competição hídrica entre os diferentes usuários da água do Rio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a localização do município de Juazeiro-BA, na região Nordeste do Brasil e as estações agrometeorológicas utilizadas.

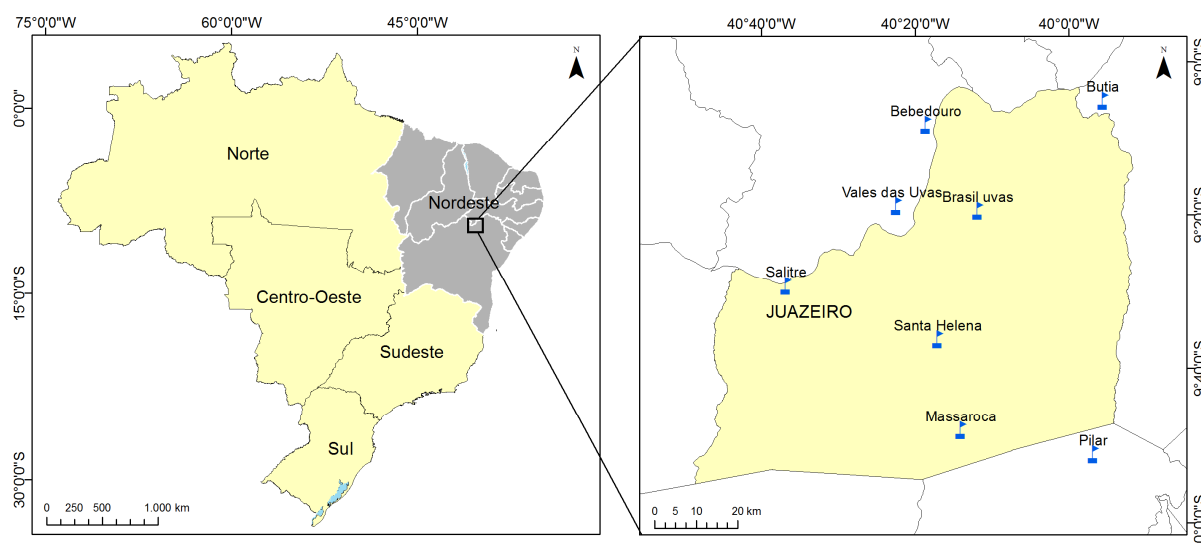


Figura 1 - Localização do município Juazeiro-BA no Nordeste do Brasil e estações agrometeorológicas utilizadas.

O município de Juazeiro-BA, excluindo as áreas de altitudes elevadas, apresenta temperatura do ar (T_a) média anual maior que 24 °C. Os meses mais quentes são outubro e novembro quando o Sol está na posição zenital e em condições de baixa nebulosidade, enquanto que os mais frios são junho e julho na época do solstício de inverno no hemisfério Sul. Normalmente a maior parte das chuvas ocorre durante os quatro primeiros meses do ano, representando em média 68% da quantidade de precipitação anual (Teixeira, 2009).

Dados de oito estações agrometeorológicas (ver Figura 1) foram usados em conjunto com cinco imagens Landsat 8 adquiridas em diferentes condições termo hídricas nos anos de 2014 (Dia/Ano 025/2014 e 153/2014) e de 2015 (Dia/Ano 236/2015, 300/2015 e 348/2015). Grades de radiação solar global (RG), T_a e de evapotranspiração de referência (ET_0) foram usadas em conjunto com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto para estimativas dos componentes do balanço de energia em larga escala (Teixeira *et al.*, 2014).

As reflectâncias das bandas de 1 a 7 do Landsat 8 (resolução espacial de 30 m) foram usadas para o cálculo do albedo da superfície (α_0), enquanto que para a temperatura da superfície (T_0), as bandas usadas foram 10 e 11 (resolução espacial de 100 m).

As radiações atmosféricas para cada banda (R_{a_b}) de 1 a 7 foram calculadas com a lei de Planck, integrando-se as radiações espectrais de acordo com os comprimentos de onda e a fração representada no espectro solar, assumindo-se o Sol como um corpo negro. Então o albedo planetário (α_p) foi obtido como a soma dos albedos planetários de cada banda (α_{p_b}) considerando-se seus pesos:

$$\alpha_p = \sum w_b \alpha_{p_b} \quad (1)$$

onde os valores de w_b foram obtidos como a razão da radiação solar incidente no topo da atmosfera para uma banda particular e a soma das radiações de todas as bandas.

As radiâncias espectrais das bandas 10 (L_{10}) e 11 (L_{11}) das regiões termais do Landsat 8 foram convertidas em temperaturas radiométricas aplicáveis no topo da atmosfera (T_b) através da inversão da lei de Planck nos intervalos de comprimento de onda 10,6-11,19 μm (banda 10) e 11,5-12,51 μm (banda 11):

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_b + 1}\right)} \quad (2)$$

onde K_1 (774,89 e 480,89) e K_2 (1321,08 e 1201,14) são os coeficientes de conversão para bandas 10 e 11 do Landsat 8. A média dos valores de T_b foi considerada a temperatura radiométrica (T_{rad}).

Regressões para correções atmosféricas baseadas em dados de campo na região semiárida brasileira foram aplicadas para ambos α_p and T_{rad} na estimativa dos valores de albedo da superfície (α_0) e temperatura da superfície (T_0) de acordo com Teixeira *et al.* (2014).

O índice Diferença da Vegetação Normalizado (NDVI) é um indicador relacionado com as condições hídricas e de vegetação, obtido através das imagens de satélite por:

$$\text{NDVI} = \frac{\alpha_{p(\text{ip})} - \alpha_{p(\text{ver})}}{\alpha_{p(\text{ip})} + \alpha_{p(\text{ver})}} \quad (3)$$

onde $\alpha_{p_{\text{ip}}}$ and $\alpha_{p_{\text{ver}}}$ representam os albedos planetários para os comprimentos de onda nos comprimentos de onda das regiões do espectro solar no infravermelho próximo (subscrito *ip*) e no vermelho (subscrito *verm*), que para o Landsat 8 são respectivamente as bandas 5 e 4.

Os valores diários do saldo de radiação (R_n) foram estimados com a equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0)RG - a_L \tau \quad (4)$$

onde τ é a transmissividade e a_L é um coeficiente de regressão que foi espacialmente distribuído através da sua relação com T_a (Teixeira *et al.*, 2008).

Os valores instantâneos da razão da evapotranspiração atual (ET) para ET_0 foram modelados e multiplicados pelas grades de ET_0 das estações agrometeorológicas para a estimativa da ET em larga escala e esta então transformada unidades de energia para obtenção do fluxo de calor latente (λE) (Teixeira *et al.*, 2014).

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp\left[a_s + b_s \left(\frac{T_0}{\alpha_0 \text{NDVI}} \right) \right] \quad (5)$$

onde ET_0 foi calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), e a_s e b_s são os coeficientes de regressão 1,8 e -0,008, respectivamente, para as condições semiáridas do Nordeste do Brasil.

A Eq. 5 não funciona para corpos d'água ($NDVI < 0$). Então, o conceito de evapotranspiração de equilíbrio - ET_{eq} (Raupash, 2001) é adotado no algoritmo SAFER, e λE_{eq} é obtida através de funções condicionais aos valores de NDVI como:

$$\lambda E_{eq} = \frac{s (R_n - G)}{s + \gamma} \quad (6)$$

onde s é a inclinação da curva da relação da pressão de saturação do vapor com T_a , G é o fluxo de calor no solo e γ é a constante psicrométrica.

Para os valores diários de G , a equação seguinte foi aplicada (Teixeira, 2010):

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

onde a_G e b_G são os coeficientes de regressão, 3,98 e -25,47 para as condições semiáridas do Nordeste do Brasil.

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

$$H = R_n - \lambda E - G \quad (8)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros climáticos determinantes do balanço de energia nos diferentes agroecossistemas são RG , precipitação (P) e a demanda atmosférica representada pela ET_0 . As tendências destes parâmetros foram analisadas na escala mensal, durante os períodos que influenciam os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, do início da estação chuvosa em 2013 ao final do ano de 2015, envolvendo as condições termo hídricas prévias, atual e posteriores às aquisições das imagens de satélites (Janeiro de 2014 a Dezembro de 2015).

A Figura 2 apresenta as tendências das forçantes climáticas no balanço de energia obtidas com dados obtidos com dados da estação agrometeorológica de Santa Helena (ver Figura 1), situada na porção central do município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil.

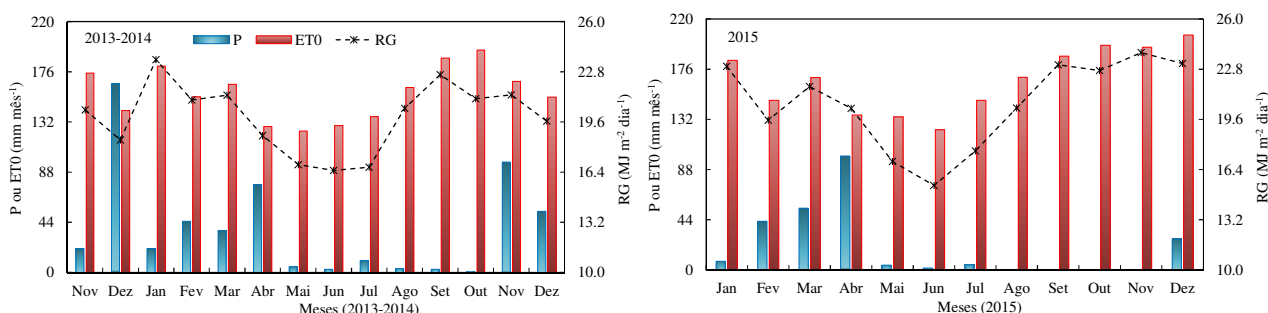


Figura 2 - Médias mensais dos totais de precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_0) e radiação solar global (R_G), obtidos do final de 2013 ao final de 2015, na estação agrometeorológica de Santa Helena, situada na parte central do Município de Juazeiro-BA, Nordeste de Brasil.

Considerando P no período envolvendo as aquisições das imagens, ocorreram concentrações de chuvas nos meses de novembro de 2013 a maio de 2014, chegando a 370 mm (70% da quantidade anual), influenciando os parâmetros hídricos e de vegetação obtidos por sensoriamento remoto com as imagens Dia/Ano 025/2014 e 153/2014. Com relação ao período de aquisição das outras imagens (Dia/Ano 236/2015, 300/2015 e 348/2015), a única precipitação acima de 20 mm ocorreu em dezembro de 2015, mas concentrando-se no final do ano, portanto proporcionando pouco efeito nos resultados das imagens processadas para este ano.

Com relação à demanda atmosférica, embora as amplitudes anuais sendo inferiores às de P, os valores mais baixos, tanto de ET₀ como de RG, ocorreram no período de maio a julho, coincidindo com condições de chuvas inferiores a 10 mm mês⁻¹, na época do solstício de inverno no Hemisfério Sul (imagem Dia/Ano 153/2014). Neste caso ET₀ e RG estiveram abaixo de 150 mm mês⁻¹ e 18 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente, enquanto que no período próximo de posição zenital do Sol, ficaram acima de 180 mm mês⁻¹ e 22 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente (imagens dos dias 300 e 348 de 2015). Estas últimas condições favoreceriam a produção de biomassa, porém se houvessem boas condições de umidade na zona das raízes, o que com baixos valores de P na região só é possível com irrigação.

Seguindo Teixeira *et al.* (2008), usando-se os dados interpolados de RG e T_a das estações agrometeorológicas apresentadas na Figura 1 em conjunto com as imagens de α₀ na escala diária a equação de Slob foi aplicada para a obtenção dos valores de R_n em larga escala. A Figura 3 apresenta a sua distribuição espacial no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas nos anos de 2014 e 2015.

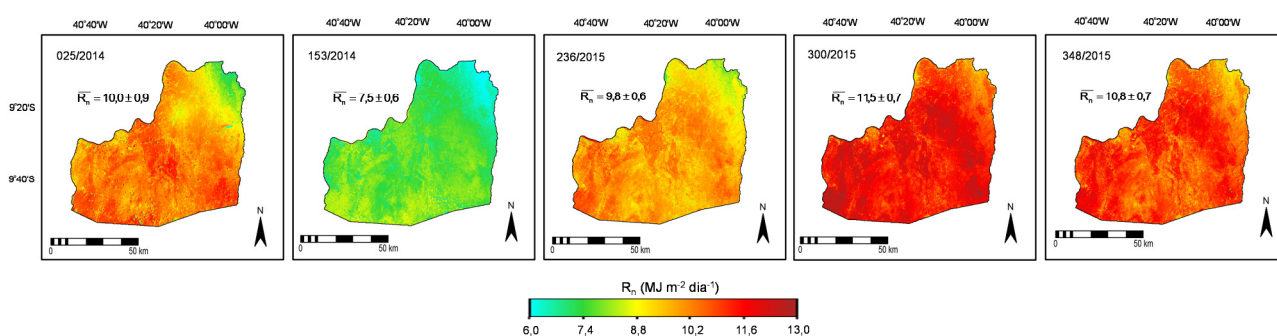


Figura 3 – Distribuição espacial dos valores diários do saldo de radiação (R_n) no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas dos anos de 2014 e 2015.

Em geral, não há claras distinções nos valores de R_n entre culturas irrigadas e vegetação natural. Por um lado, os maiores valores são observados no mês de outubro (Dia/Ano 300/2015), devido ao posicionamento astronômico do Sol em torno do zênite, aliado a baixa nebulosidade, proporcionando elevados níveis de RG. Por outro lado, como consequência da maior

dispersão da radiação solar na época do solstício de inverno devido a uma camada mais larga da atmosfera que a radiação atravessa, os valores de R_n mais baixos são verificados em junho (Dia/Ano 153/2014). Para todos os períodos do ano, não há grandes variações espaciais com os desvios padrões (DP) apresentando uma faixa estreita nos seus valores (0,6 a 0,9 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)

A maior dependência de R_n é com os níveis de RG, como se pode claramente observar pelos mais baixos e mais elevados valores destes parâmetros, respectivamente para os Dia/Ano 153/2014 (junho) e 300/2015 (outubro), através das Figuras 2 e 3. As frações de RG transformada em R_n variaram em torno de 41% (Dia/Ano 153/2014) a 47% (Dia/Ano 025/2014), com média para todas as imagens de 44%, independentemente dos tipos de agros-ecossistemas. Este resultado está de acordo com medições de campo na região semiárida do Brasil (Teixeira *et al.*, 2008), e outros estudos envolvendo diferentes condições ambientais e ecossistemas (Hughes *et al.*, 2001; Yunusa *et al.*, 2004; Teixeira *et al.*, 2014), o que fornece confiança na aplicação da equação de Slob com uso conjunto de imagens Landsat 8 e dados climáticos interpolados.

Torna-se claro da Figura 3 que não se pode caracterizar os valores de R_n entre as culturas irrigadas e vegetação natural nos diferentes agros-ecossistemas do município de Juazeiro-BA. Então, estas diferenças podem ser analisadas considerando-se as partições da energia disponível em λE , H e G sob diferentes condições termo hídricas ao longo do ano.

Obtendo-se a ET através do algoritmo SAFER e a transformando em unidades de energia, λE foi estimado (Teixeira *et al.*, 2014). A Figura 4 apresenta a sua distribuição espacial no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas nos anos de 2014 e 2015.

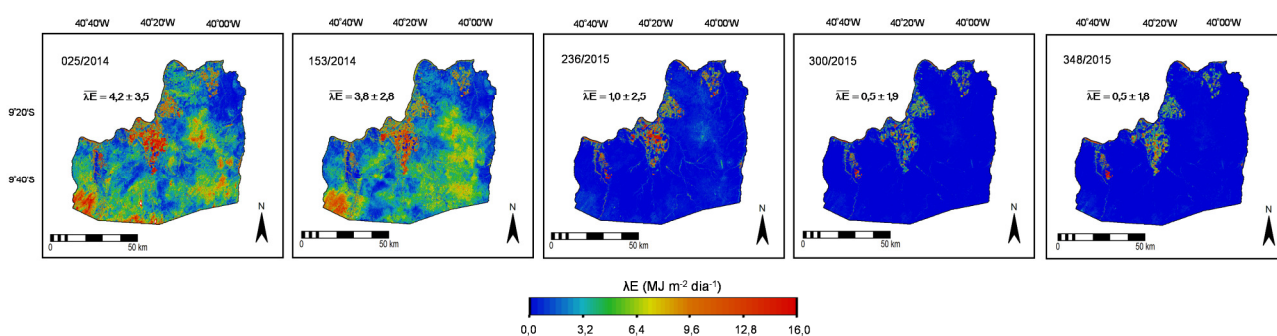


Figura 4 - Distribuição espacial dos valores diários do fluxo de calor latente (λE) no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas dos anos de 2014 e 2015.

Com relação à λE , as variações espaciais são mais evidentes que para o caso de R_n , principalmente observando-se as imagens representativas das condições mais secas (Dias 300 e 348 do ano de 2015), onde se distinguem claramente as áreas irrigadas nas proximidades do Rio São Francisco daquelas de vegetação natural e as imagens representativas das condições mais úmidas

(Dias 025 e 153 de 2014), quando as taxas evapotranspiratórias das espécies da Caatinga são mais elevadas acarretando em uma menor heterogeneidade espacial no município.

Os valores médios de λE ficaram entre $0,5 \pm 1,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $4,2 \pm 3,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, entretanto no período naturalmente mais seco nas áreas irrigadas de coloração avermelhada λE ultrapassa $15,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, equivalente a taxas evapotranspiratórias acima de $6,0 \text{ mm dia}^{-1}$, enquanto que as áreas de vegetação natural apresentam evapotranspiração zero. Considerando-se todo o município, as partições de R_n para λE variaram em média de 0,04 (Dias 300 e 348 de 2015) a 0,49 (Dia/Ano 153/2014), sendo o percentual médio municipal dessa relação para todos os períodos de 22%. As condições de maior umidade disponível para esta última imagem é devido ao fato que as chuvas prévias contribuíram para a manutenção da umidade na zona das raízes das espécies da Caatinga.

Após as estimativas de R_n e λE e considerando-se G como uma fração de R_n , H pôde ser obtido como resíduo na equação do balanço de energia. A Figura 3 apresenta sua distribuição espacial no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas nos anos de 2014 e 2015.

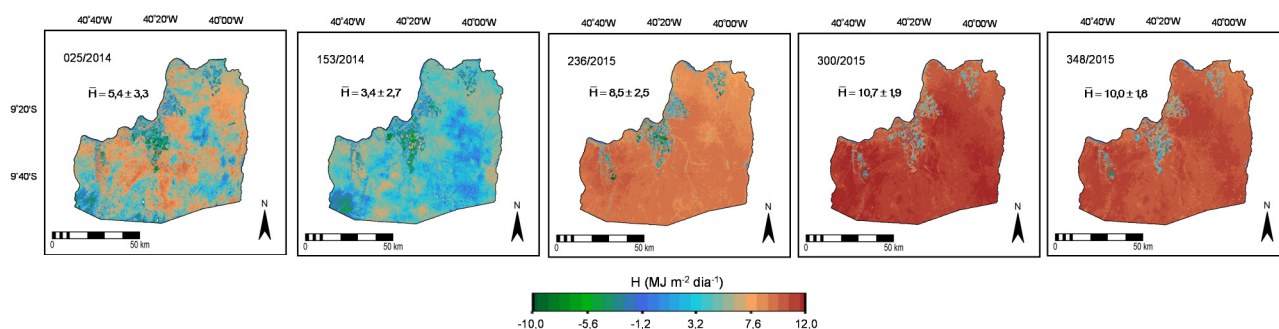


Figura 5 - Distribuição espacial dos valores diários do fluxo de calor sensível (H) no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas dos anos de 2014 e 2015.

No caso de H , as variações espaciais também são evidentes, com valores positivos mais altos para vegetação natural, acima de $10,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ nas imagens dos dias 300 e 348 do ano de 2015. Considerando-se toda a área do município, as partições de R_n para H variaram em média de 0,47 (Dia/Ano 153/2014) logo após as estação chuvosa a 0,93 (Dias 300 e 348 de 2015), sendo o percentual médio municipal desta relação para todos os períodos de 75%. Menores valores de H podem ser atribuídos a uma maior concentração de áreas irrigadas, chegando a ser negativos nas áreas mais verdes significando advecção de calor das áreas vizinhas mais quentes e secas. Os valores mais baixos no mês de junho são devidos ao efeito conjunto de baixos níveis de R_G e elevada umidade do solo após as chuvas.

A Figura 4 mostra a distribuição espacial de G no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas nos anos de 2014 e 2015.

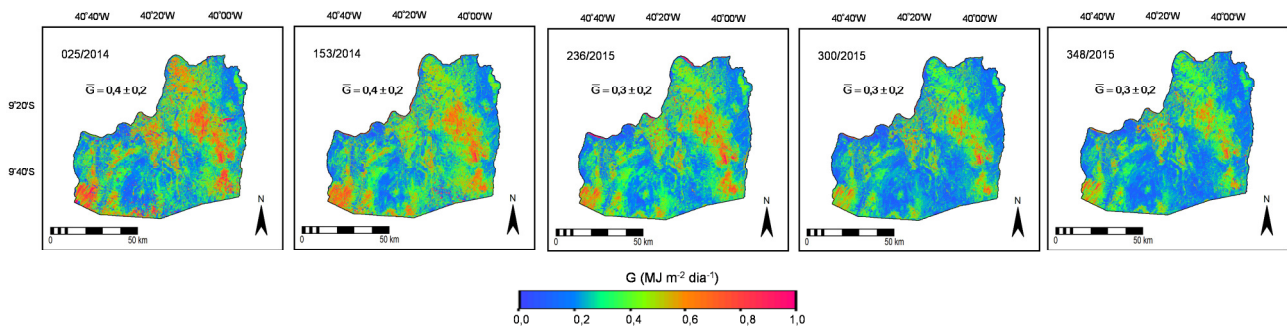


Figura 6 - Distribuição espacial dos valores diários do fluxo de calor no solo (G) no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, para diferentes condições termo hídricas dos anos de 2014 e 2015.

Como no caso de R_n , não há uma distinção forte dos valores de G entre os diferentes agros-ecossistemas envolvendo agricultura irrigada e vegetação natural no município de Juazeiro-BA. Considerando-se toda a área do município, as partições de R_n para G na escala diária foram baixas variando de 2 a 4%, sendo a média municipal de 3%. G foi o componente do balanço de energia que apresentou a menor variação espacial entre os diferentes agros-ecossistemas do município, com valores absolutos muito baixos, confirmando que na maioria dos casos se aproximam de zero na escala diária (Teixeira et al., 2014), com poucas áreas apresentando valores absolutos próximos de $1,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

CONCLUSÕES

De forma geral, conclui-se que os componentes do balanço de energia podem ser estimados com eficiência através de medições instantâneas das radiações na faixa do visível, infravermelho próximo e termal do sensor Landsat 8 em conjunto com dados climáticos, através aplicação do algoritmo SAFER no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil. O saldo de radiação (R_n) foi mais fortemente influenciado pelos níveis de radiação solar que pelas características dos diferentes agros-ecossistemas. Considerando-se toda a área municipal, as frações medias dos fluxos de calor latente (λE), sensível (H) e no solo (G) para R_n foram de 22, 75 e 3%, respectivamente. Em algumas ocasiões, dentro das áreas irrigadas, evidenciaram-se advecção de calor proveniente das áreas mais secas nas vizinhanças das culturas agrícolas, promovendo λE maior que R_n e valores negativos de H . Os resultados obtidos para o município são relevantes para o manejo racional dos recursos hídricos nas condições de mudanças de uso da terra nas áreas próximas ao Rio São Francisco.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq, pelo suporte financeiro aos projetos sobre produtividade da água no Brasil.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

BASTIAANSSSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; ROERINK, G.J.; HOLTSLAG, A.A.M. (1998). "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation". *Journal of Hydrology* 212–213, pp. 198–212.

HUGHES, C.E.; KALMA, J.D.; BINNING, P.; WILLGOOSE, G.R.; VERTZONIS, M. (2001) "Estimating evapotranspiration for a temperate salt marsh Newcastle, Australia". *Hydrological Processes* 15, pp. 957–975.

RAUPASCH, M.R. (2001) "Combination theory and equilibrium evaporation". *Quartely Journal of Royal Meteorological Society* 127, pp. 1149–1181.

TEIXEIRA, A.H. de C.; BASTIAANSSSEN, W.G.M.; AHMAD, M-UD-D; BOS, M.G.; ;MOURA, M.S.B. (2008) "Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil". *Journal of Hydrology* 362, pp. 110–127.

TEIXEIRA, A.H. de C. (2009), *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p.

TEIXEIRA, A.H. DE C.; BASTIAANSSSEN, W.G.M.; AHMAD, M-UD-D; BOS, M.G. (2009) "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* 149, pp. 462–476.

TEIXEIRA, A. H. de C. (2010) "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* 2, pp. 1287–1319.

TEIXEIRA, A.H. de C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. (2014). "A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil", in *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. Org. por Petropoulos G.G. 1ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, pp. 169–191.

YUNUSA, I.A.M.; WALKER, R.R.; LU, P. (2004). "Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlisimetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia" *Agricultural and Forest Meteorology* 127, pp. 93–107.