

Balço de Energia em Áreas de Cultivo de Soja no Rio Grande do Sul a Partir de Produtos MODIS

Juliano Schirmbeck¹
Denise Cybis Fontana²
Débora Regina Roberti³
Lucimara Wolfarth Schirmbeck²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGSR/CEPSRM
Caixa Postal: 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS/Brasil
schirmbeck.j@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia - Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia
Caixa Postal: 15100 - 91501-970 - Porto Alegre - RS/Brasil
dfontana@ufrgs.br

⁴Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas Departamento de Física.
Av. Roraima, 1000 - Camobi 97105-900 - Santa Maria, RS - Brasil
debora@ufsm.br

Abstract: The requires new techniques for continuous monitoring of been crops. The state of Rio Grande do Sul is the third largest producer of soybean in Brazil. It is known that the variability of the rainfall occurred in the state is the main cause of loss of crops and in the soil water balance the largest output is given by evapotranspiration. There is consensus among the scientific community that the Energy Balance is a technique for obtaining precise and accurate evapotranspiration. The purpose of this study was to estimate from MODIS data, the components of energy balance. The data obtained from the images were compared with in situ measurements obtained by an Eddy Correlation tower. The study area included the Macro Região Noreste of State. Thirteen days were analyzed among the soybeans crop cycle of years 2008/2009 and 2009/2010. The selected days include a clear sky days. The results from the in situ measurements indicated a net radiation of 173 W/m² which 75% was as latent heat flux, 20% by sensible heat flux and, 5% by heat flow in soil. A comparison of data obtained from the images showing adjustments with r² of 0.81, LE with r² of 0.52 for G with r² of 0.32 and H with r² of 0.36. It was observed that adjustments G and H were less influenced by three specific dates on which vegetation was not 100% coverage. The results was showed consistent relationships exist between components of energy balance obtained by remote sensing and micrometeorological tower.

Palavras-chave: Energy Balance, Eddy Correlation, MODIS Products, Balço de Energia, Produtos Modis.

1 Introdução

A crescente demanda mundial por alimentos, assim como a utilização de parte desta produção na geração de biocombustíveis, torna a atividade agrícola estratégica no cenário econômico, social e ambiental. Junto a esta crescente demanda, a agricultura no mundo vem passando por um processo contínuo de modernização do campo. Cada vez se torna mais frequente o uso de técnicas avançadas para o monitoramento e mapeamento do estado dos cultivos nas distintas etapas de desenvolvimento, bem como para estimativas de safras, especialmente em países com maior nível tecnológico no setor.

Apesar da importância do Rio Grande do Sul no cenário brasileiro de produção de grãos, há grande carência de métodos que permitam o acompanhamento dos eventos adversos, os quais frequentemente afetam a produção. Salienta-se a condição hídrica dos cultivos como o fator de maior relevância em termos de impacto. No Estado, a variabilidade do regime de precipitação pluvial define grandemente o desenvolvimento da vegetação, a produção de

biomassa e consequentemente a produção de grãos, sendo que a estiagem tem sido apontada como a principal causa de perdas para o setor especialmente no período de primavera-verão Matzenauer (2003).

É importante considerar, ainda, que no balanço hídrico do solo a maior parcela de saída de água do sistema se dá por evapotranspiração (ET) e, portanto, a correta estimativa deste componente, assim como de sua variabilidade temporal e espacial, é informação chave para o uso racional e sustentável do recurso água.

É consenso entre a comunidade científica de que o Balanço de Energia (BE) é uma técnica precisa e acurada de obtenção da evapotranspiração, gerando resultado confiáveis na estimativa deste elemento (Allen et al., 1998) e também dos demais termos do BE, como a quantidade de energia destinada ao aquecimento do ar e do solo, que são componentes úteis em estudos relacionados a estresses ambientais.

O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade de utilização de técnicas de sensoriamento remoto para determinar, a partir de imagens do sensor MODIS, a distribuição espacial das componentes do Balanço de Energia, na macro região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, região que se destaca na produção de soja no Estado.

2 Dados e Metodologia

O local de estudo do presente trabalho compreendeu área da Macrorregião Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, região que se caracteriza pela alta produtividade de grãos no Estado, em verde na Figura 1.

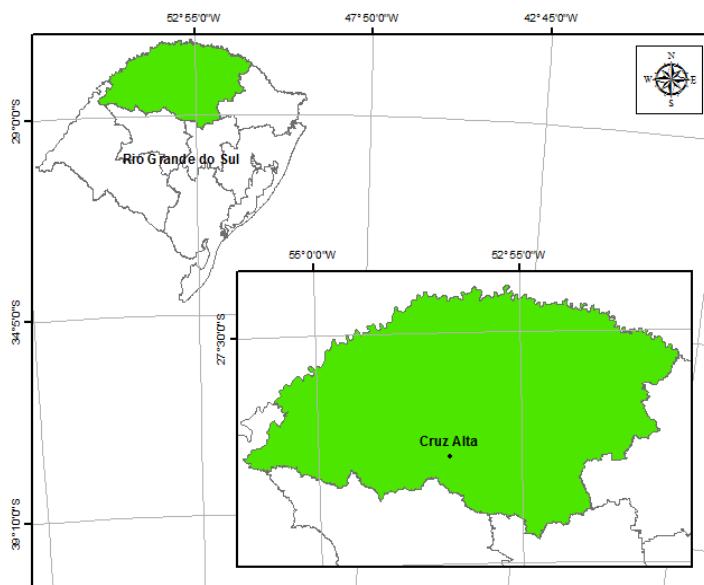


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul, com a localização da torre micrometeorológica responsável por registrar os dados em escala local utilizadas no estudo.

2.1 Os dados meteorológicos de superfície e imagens

As variáveis meteorológicas convencionais e os parâmetros de radiação (RN e G) e fluxos turbulentos de energia (LE e H) são provenientes de uma torre micrometeorológica do Laboratório de Micrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (Lumet-UFSM) integrada à rede SULFLUX (www.ufsm.br/sulflux), instalada nas dependências da empresa CCGL-TEC/F UNDACEP em um sítio experimental de cultivo agrícola no município de

Cruz Alta (Lat:-28,6036, Lon:-53,6736, Alt: 432m). Detalhes sobre o funcionamento da torre micrometeorológica podem ser obtidos em Teichrieb 2012 e e Moreira et al, 2014. Fotos da torre micrometeorológica é apresentada na Figura 2.

A torre micrometeorológica está instrumentada com um anemômetro sônico 3D, CSAT3 (Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) e um sensor de vapor d'água e fluxo de CO₂, LI-7500 (LI-COR Corporate Offices, Lincoln, Nebraska, USA), um sensor de saldo de radiação (Kipp & Zonen – NR LITE) e sensor de fluxo de calor no solo (Hukseflux HFP01SC-L), entre outros. Os dados destes sensores são registrados em dois dataloggers CR23 e CR1000 (Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA).

Os fluxos calor sensível e latente foram estimados usando o método eddy covariance (Baldocchi et al, 1988). Estes fluxos foram corrigidos seguindo as sugestões de Webb et al., (1980). Todos as componentes do balanço de energia foram obtidos como uma média sobre 30 min.



Figura 2. Torre micrometeorológica de monitoramento de fluxos e radiação.

Para a execução do estudo foram analisados dados de um total de 13 dias. Estes dias foram escolhidos pelo fato de que ao longo de todo o dia não apresentaram cobertura por nuvens sobre a torre micrometeorológica. Das datas analisadas 5 delas compreendem o período da safra de soja de 2008/2009 e as outras 8 datas da safra de soja de 2009/2010.

Para obtenção dos componentes do balanço de energia em escala regional foram utilizados os dados capturados pelo sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua. Este sensor foi escolhido por possuir características de abrangência regional, alta variabilidade espectral e alta repetitividade (MODIS Website), assim como pela disponibilidade dos dados em forma de produtos, tornando a avaliação direta, sem a necessidade de processamentos complexos.

Os dados utilizados foram: albedo da superfície terrestre (MCD43B3), índice de vegetação NDVI (MOD13A2) e os produtos de emissividade e temperatura de superfície (MOD11A1). Todos os produtos utilizados possuem um resolução espacial de 1000m, sendo os produtos obtidos através de download no banco de dados da LP DAAC USGS.

2.2 Obtenção dos Componentes de BE em Escala Regional

O BE foi calculado a partir de modelo de fluxo unidimensional, baseado na maneira que se distribui o saldo de radiação (Rn) a nível do solo, em fluxo de calor latente (LE)

(evapotranspiração), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G). O LE foi estimado como termo residual da Equação 1

$$Rn + G + H + LE = 0 \quad (1)$$

O saldo de radiação Rn foi obtido a partir da Equação 2

$$Rn = RG(1 - \alpha) + \varepsilon_s \varepsilon_a \sigma T_a^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (2)$$

onde: o albedo (α), a emissividade da superfície (ε_s) e a temperatura da superfície (T_s) foram obtidos a partir de imagens de satélite, a temperatura do ar (T_a) e Radiação Global (RG) são dados atmosféricos de escala local, ε_a é a emissividade do ar e σ a constante de Stefan Boltzmann.

O fluxo de calor no solo G foi estimado como uma fração do saldo de radiação proporcional à cobertura vegetal, a partir do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) conforme Equação 3 proposta por Moran et al., (1989):

$$G = 0,583 \exp(-2,13NDVI)Rn \quad (3)$$

Fluxo de calor sensível H foi obtido a partir de modelo que se baseia na diferença entre a temperatura de superfície e da temperatura do ar, Equação 4 (Boegh et al., 2002).

$$H = \rho c_p \frac{T_s - T_a}{ra} \quad (4)$$

onde: ρ é a densidade do ar, c_p e o calor específico do ar úmido a uma pressão constante e ra a resistência aerodinâmica.

Os fluxos de radiação obtidos a partir das imagens correspondem a valores instantâneos obtidos no momento de passagem do satélite. Para converter estes dados para escala regional utilizou-se a metodologia proposta por (Segin e Itier 1983) que consiste em considerar que o saldo de radiação instantâneo (RN_i) é uma proporção do Saldo de Radiação diário (RN_d) que pode ser obtida pela razão de RN_i por RN_d. Esta razão foi calculada para cada uma das datas a partir dos dados da torre micrometeorológica.

Para análise dos resultados obtidos a partir das imagens foram extraídos os valores médios de cada componente do balanço de energia em uma janela de 3x3 pixels, centrada na coordenada da estação. Estes valores foram comparados frente aos valores das componentes do balanço de energia medidos na torre micrometeorológica.

3 Resultados e Discussão

O padrão médio diário dos componentes do balanço de energia, medidos na torre micrometeorológica, nos dias estudados é apresentado na Figura 3. Os valores máximos e médios observados para o saldo de radiação, que representam a energia disponível para os processos que ocorrem a nível da superfície, foram respectivamente de 671 W/m² e de 173 W/m². Do total da energia disponível 75 % foi liberada em forma de fluxo de calor latente (LE), 20% em fluxo de calor sensível e 5% em fluxo de calor no solo.

As magnitudes das componentes medidas na estação apresentaram valores coerentes com os valores obtidos por Fontana et al., 1991, que monitorou as componentes do balanço de energia em uma parcela experimental de soja localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, no município de Taquari. Neste estudo Fontana et al., 1991 encontraram, para 8 datas monitoradas valores de RN variando entre 67 W/m² e 218W/m² sendo estes distribuídos em média 78% como LE, 13% como H e 7% como G.

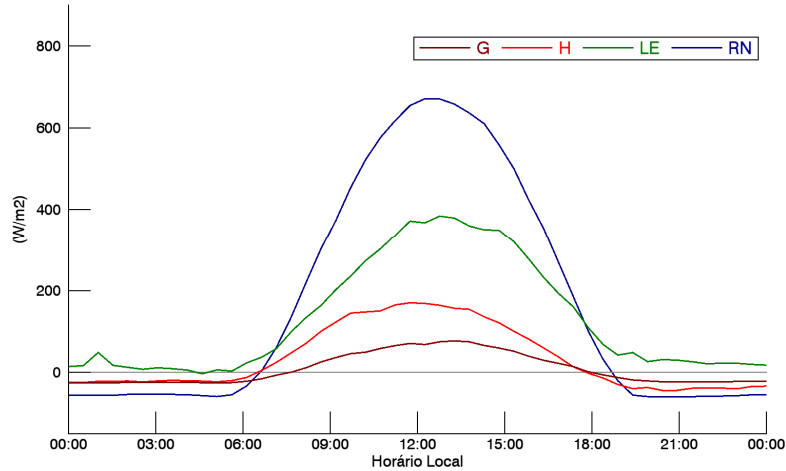


Figura 3. Padrão médio horário dos componentes do Balanço de Energia durante os 13 dias analisados. Legenda: LE – Fluxo de calor latente, H – Fluxo de calor sensível, RN – Saldo de radiação e G – Fluxo de calor no solo

A relação entre os valores estimados a partir das imagens e os medidos na torre micrometeorológica é apresentada na Figura 4. Pode-se observar os ajustes para RN com r^2 de 0,81 e LE com r^2 de 0,52 já para G e H os ajustes apresentaram um r^2 mais baixos, sendo respectivamente 0,32 e 0,36.

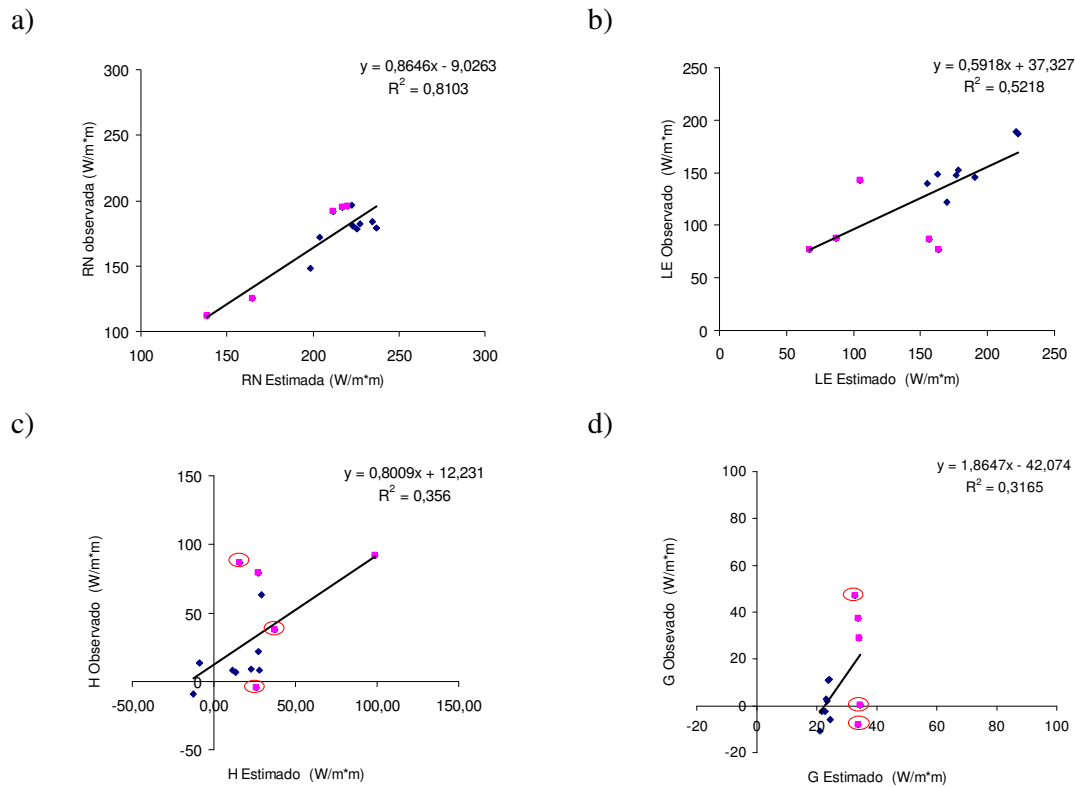


Figura 4. Dispersão entre os valores das componentes do balanço de energia estimados a partir das imagens e os valores medidos na torre micrometeorológica. a) RN – Saldo de radiação, b) LE – Fluxo de calor latente, c) H – Fluxo de calor sensível e d) G – Fluxo de calor no solo. Azul para datas com vegetação em pleno desenvolvimento e magenta as datas que a cobertura do solo era parcial ou a vegetação senescente. Destacados com círculos vermelhos dias específicos que contribuíram negativamente nos ajustes.

Dos 13 dias analisados, 7 dias correspondem a datas na qual a vegetação encontrava-se com alto vigor de desenvolvimento (pontos azuis). Dos outros 5 dias (pontos magenta), em 3 dias a soja encontrava-se em fase inicial de desenvolvimento, sem a total cobertura do solo e nos outros 2 dias a cultura estava em processo de senescência,

Na dispersão das componentes G e H podemos observar que 3 datas (destacadas com círculos vermelhos), dos 5 pontos em magenta, são os principais responsáveis pela queda do r^2 destas componentes o que nos dá o indício de que os modelos apresentam melhor comportamento para situações onde a cobertura vegetal é de 100%. Com a eliminação destes pontos os ajustes de G e H chegam respectivamente a um r^2 de 0,85 e 0,58.

Uma hipótese para explicar de estas incertezas é as distintas magnitudes espaciais dos dados comparados, uma torre micrometeorológica que mede os fluxos em uma pequena porção do terreno (com efeito de bordadura da torre em ordem de 100m a 200m Anderson et al 2012) frente a dados extraídos das imagens de satélite que correspondem a um valor médio de uma área de 90.000 ha, Além disso foi realizado um processo de extrapolação dos dados instantâneos obtidos a partir das imagens para dados a nível diário.

O padrão espacial das componentes do balanço de energia obtidos a partir dos produtos MODIS para o dia 05/02/2009, fase de máximo vigor vegetativo para a safra de 2008/2009 e para o dia 04/12/2009, da fase inicial do desenvolvimento da cultura de soja para a safra de 2009/2010 são apresentados respectivamente nas Figuras 05 e 06.

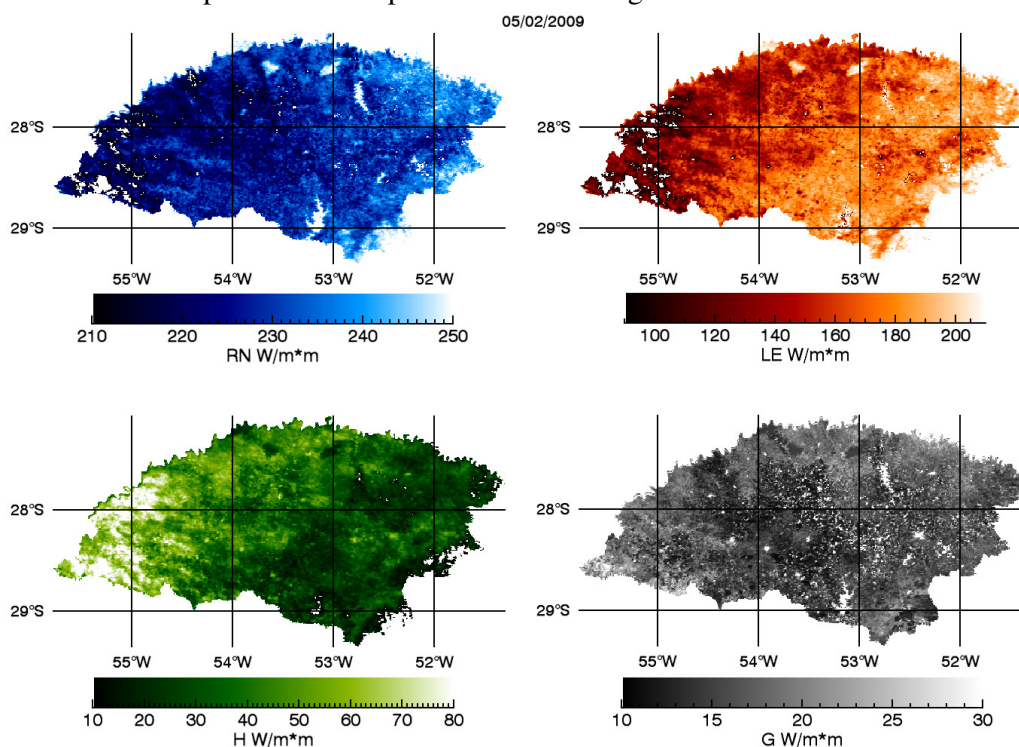


Figura 5. Mapas dos componentes do balanço de energia para a data de 05/02/2009

Na Figura 05 correspondente aos mapas da data de 05/02/2009 observam-se valores médios de RN de 204 W/m^2 , LE de 142 W/m^2 , H de 41 W/m^2 , e G de 22 W/m^2 , sendo que as componentes LE, H e G correspondem respectivamente a 69%, 20% e 11% do saldo de radiação.

Comparando com o comportamento médio do período, apresentado na Figura 3 observa-se o maior peso na componentes LE, sendo os valores de H e G abaixo dos encontrados para o período. Isto é um indício de que nesta data a vegetação apresentava ótimas condições

hídricas, tendo a possibilidade de converter a quase totalidade da energia em fluxo de calor latente.

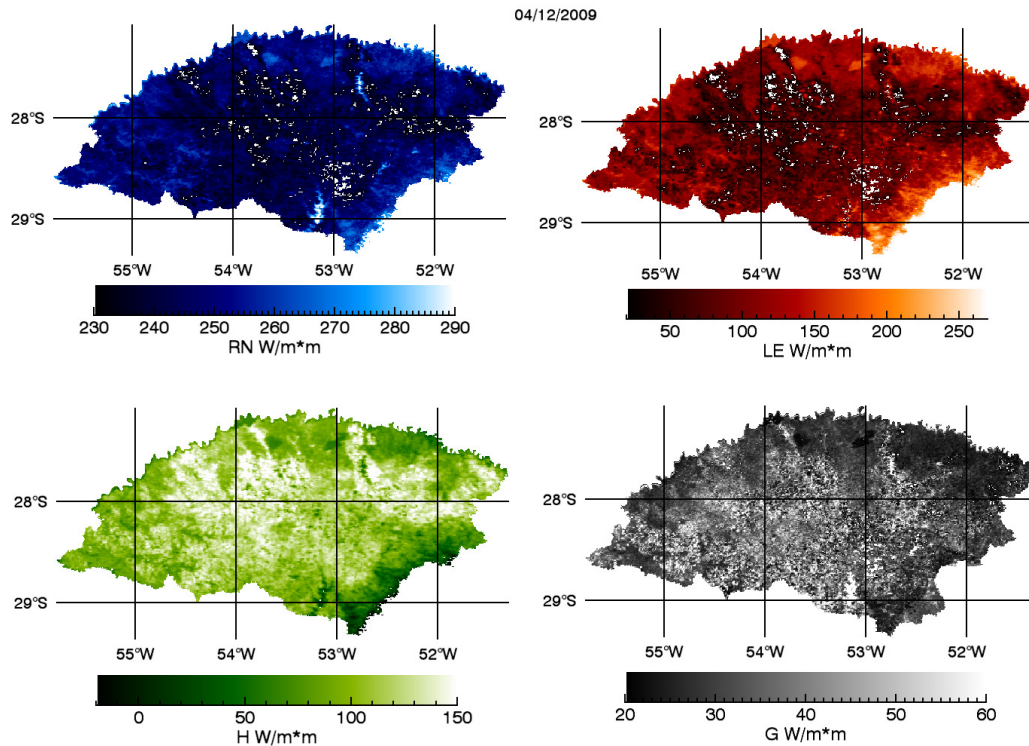


Figura 6. Mapas dos componentes do balanço de energia para a data de 04/12/2009

Na Figura 6 correspondente aos mapas da data de 04/12/2009 observam-se valores médios de RN de 182 W/m^{-2} , LE de 110 W/m^{-2} , H de 46 W/m^{-2} e G de 26 W/m^{-2} , sendo que as componentes LE, H e G correspondem respectivamente a 60,4%, 25,3% e 14,3% do saldo de radiação. Em relação ao padrão médio do período, apresentado anteriormente na Figura 3 pode-se observar valores relativamente altos nos componentes H e G, comportamento compreensível para a situação de desenvolvimento da cultura onde ainda não há um recobrimento total do solo.

4 Conclusões

Apesar das diferentes escalas espaciais dos dados utilizados, existe relação consistente entre os dados das componentes do balanço de energia obtidos por sensoriamento remoto e por torres micrometeorológicas, o que permite gerar mapas com a espacialização das componentes do balanço de energia. Estudos futuros devem ser realizados no sentido de analisar mais detalhadamente os fatores que possam ter influenciado os resultados não satisfatórios para a estimativa das componentes do balanço de energia em datas específicas .

Referências Bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and drainage paper 56. Water Resources, Development and Management Service, Rome, Italy. 1998.

Almeida, T. S.; Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo do solo. 100 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2008.

Baldocchi, D. D., Hicks B. B., Meyers T. P., Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods, *Ecology*, 69, 1331-1340. 1988.

Boegh, E., Boegaard, H., Thomsen, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment* 79, 329-343. 2002.

Fontana, D.C.; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.3, p.403-410. 1991.

Martorano, L. G. Padrões de resposta da soja a condições hídrica dos sistema solo-planta-atmosfera, observados nos campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT. 151 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

Matzenauer, R., Bergamaschi, H., Berlato, M. A., Maluf, J. R. T., Barni, N. A., Bueno, A. C., Didoné, I. A., Anjos, C. S., Machado, F. A., Sampaio, M. R., *Boletim FEPAGRO*, Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul, n. 10, agosto 2002.

MODIS Website Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>, Acessado em: 09/11/2014

Moreira, V. S., Roberti, D. R., Minella, J. P., de Gonçalves, L. G. G, Candido, L. A., Fiorin, J. E., Moraes, O. L. L., Timm, A.U., Carlesso, R., Degrazia, G. A. Seasonality of soil water exchange in the soybean growing season in southern Brazil, accepted on *Scientia Agricola*. 2014.

Moran, M. S., Jackson, R. D., Raymond, L. H., Gay, L. W., & Slater, P. N. Aapping surface energy balance components by combining landsat thematic mapper and ground-based meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, Vol.30, 77-87. 1989.

Seguin, B., & Itier, B. Using midday surface temperature to estimate daily evapo-ration from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing*, 4 (2), 371–383. 1983.

Schirmbeck, J. Schirmbeck, L. W., Rivas, R., Coelho, O. G. W.; Estimativa de Evapotranspiração em Área de Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani desde Imagens Modis. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, p. 4859-4866. 25-30 abril 2009.

Teichrieb, C. A., Trocas de Carbono Atmosférico Sobre Dois Diferentes Sistemas de Plantio de Milho no Sul do Brasil – Teste de Doutorado, PPG Física - UFSM 2012