

VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DO FLUXO DE CALOR NO SOLO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ-PE COM BASE EM IMAGENS DO MODIS/TERRA

MADSON T. SILVA¹, VICENTE DE P. R. DA SILVA²,
STEPHANNY C. F. DO E. COSTA³ & SONALY D. DE OLIVEIRA⁴

¹Meteorologista, Doutorando em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil. Fone: (0 xx 83) 3310 1031 Ramal: 35, madson_tavares@hotmail.com,

²Meteorologista, Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil,

³Graduanda em Engenharia Civil, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil.

⁴Mestranda em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

Resumo: O objetivo deste estudo foi aplicar e avaliar as equações empíricas da estimativa da razão de G/Rn como também a progressão sazonal de G/Rn e o comportamento da vegetação através do NDVI para entender como a dinâmica da cobertura da superfície atua sobre o fluxo de calor no solo. O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. Os dados de NDVI foram obtidos a partir do produto MOD13Q1 das imagens MODIS/TERRA disponibilizados pelo WIST-NASA. Os resultados demonstraram que os modelos estatísticos baseados em dados de NDVI são adequados para região. Observou-se os maiores valores de G/Rn para o período mais seco e em todo o período de estudo para regiões de solo exposto e próximo as margens do rio São Francisco. O modelos aplicados neste estudo podem melhorar os modelos agrometeorológicos espectrais utilizados para monitorar as terras agricultáveis da região.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, agrometeorologia, produto MOD13Q1, IVDN.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF HEAT FLOW IN SOIL FOR PAJEÚ-PE BASIN BASED SPECTRAL IMAGES OF MODIS/TERRA

Abstract: The objective of this study was to implement and evaluate the empirical equations estimating the ratio G / Rn as well as the seasonal progression of G/Rn and behavior through the vegetation NDVI to understand how the dynamics of surface coverage acts on the heat flux in soil. The study was conducted at the Pajeú-PE basin. NDVI data were obtained from the product MOD13Q1 of MODIS/TERRA provided by WIST-NASA. The results demonstrated that statistical models based on NDVI data, were adequate results for the region. We observed the highest values of G/Rn for the driest period and throughout the study period for areas of exposed soil and near the banks of the São Francisco river. The models applied in this study can improve the spectral agrometeorological models used to monitor the region's farmland.

Keywords: remote sensing, agrometeorology, product MOD13Q1, NDVI

Introdução: O fluxo de calor no solo (G) desempenha um papel importante na dinâmica da energia da superfície da terra, restringindo a quantidade da energia disponível para o calor latente (LE) e calor sensível (H). É um componente importante do balanço de energia da superfície para quase todos os ecossistemas, incluindo desertos (Dugas et al., 1996). Pode se tornar uma componente significativa de vegetação relativamente escassa (Kustas et al., 2000). Uma quantificação precisa de G é de fundamental importância nos estudos de balanço de energia, particularmente para a avaliação do fechamento do balanço de energia pelos métodos de estimativas de covariância turbulenta (Stannard et al., 1994) e da razão de Bowen. Malhi et al. (2004) sugeriram que os erros na estimativa de G pode ser uma possível explicação para o fracasso em fechar o orçamento de energia. Quantificar com precisão G também é importante para o equilíbrio da energia de verificação baseado em modelo de saída (Heusinkveld et al., 2004).

Material e Métodos: O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Pajeú, estando localizada entre 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul, e 36°59' 00" e 38°57' 45" de longitude oeste, é a maior bacia hidrográfica do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado. De um modo geral, o Sertão de Pernambuco é caracterizado pelo clima semi-árido, onde os índices pluviométricos anuais são considerados baixos, tanto no lado norte, onde observar-se as maiores altitudes e umidades, como no sul, região mais seca e caracterizada pela planície do rio São Francisco. Segundo SECTMA (1997), no setor norte do Sertão, os totais anuais de precipitação oscilam em torno de 600 mm, com alguns núcleos isolados chegando a 800 mm. No setor sul do Sertão, os valores anuais são inferiores a 600 mm, com algumas áreas atingindo valores inferiores a 500 mm, sendo que no Sertão do São Francisco os valores médios chegam apenas a 400 mm/ano. A Figura 1 exibe as variáveis climáticas ocorridas durante o período de estudo, observadas na Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrolina-PE 09 ° 09' S, 40 ° 22' W), no período de 1° de abril a 31 de julho de 2010.

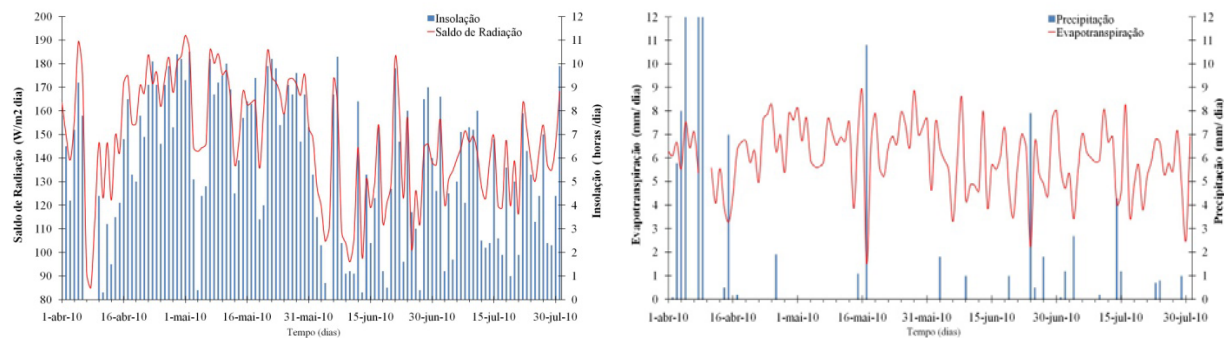


Figura 1. Condições climáticas observadas na Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrolina-PE 09 ° 09' S, 40 ° 22' W), saldo de radiação e insolação (a), precipitação e evapotranspiração (b).

Utilizou-se imagens do produto MODIS/TERRA MOD13Q1 com resolução espacial de 250 metros foram adquiridas no site Primary Data Search - WIST - NASA no endereço <<https://wist.echo.nasa.gov/api>> visando a observar a variação do índice de vegetação (NDVI) e a razão G/Rn para o período de maio a julho de 2010. Este produto é gerado a partir de várias imagens adquiridas em um período de 16 dias. Este processo de composição seleciona o melhor pixel da imagem para compor o produto MOD13Q1, minimizando eventuais distorções espaciais e ruídos radiométricos (Van Leeuwen et al., 1999). Para a obtenção do (NDVI) e a estimativa da razão G/Rn foi utilizado o software ERDAS 9.1, bem como na construção do banco de dados geográfico e na integração de todas as informações

disponíveis da área de estudo. Foram utilizados três modelos para estimar a razão G/Rn como uma função do NDVI: Kustas & Daughtry (1990), Bastiaanssen et al. (1998) e Melesse & Nangia (2005). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{NIR}) e do vermelho (ρ_R) e a soma entre elas (Allen et al., 2007), dado pela equação (1):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

Kustas e Daughtry (1990) desenvolveram com base nas informações do NDVI o modelo de estimativa da razão G/Rn, dado pela Equação (2):

$$\frac{G}{R_n} = 0.325 - 0.208NDVI \quad (2)$$

A Equação 2 é indicada quando o total da cobertura do dossel (NDVI~1), resultando que cerca de 12% de Rn é usado para aquecer o solo e, sob condições de solo nu (NDVI ~ 0), G pode ser próximo a 32% de Rn.

Bastiaanssen et al. (1998) para estimar a razão G/Rn através do modelo SEBAL, utilizaram a Equação 3:

$$\frac{G}{R_n} = 0.30(1 - 0.98 NDVI^4) \quad (3)$$

A Equação 3 implica que G pode ser tão pouco como 0,6% de Rn, quando o solo tem plena cobertura do dossel (NDVI~1) e até 30% de Rn para solos nus (NDVI~0).

Melesse e Nangia (2005) calibraram a Equação 3 com dados coletados de pastagens em Montana utilizando o modelo SEBAL, sugeriram a Equação (4) para estimar a razão G/Rn:

$$\frac{G}{R_n} = 0.153(1 - 0.98 NDVI^4) \quad (4)$$

Resultados e Discussão: A distribuição espacial do NDVI e da razão G/Rn pelos modelos 1, 2 e 3 para o dia 1 de maio de 2010 está representada na Figura 2. Observa-se que os valores do NDVI (Figura 2a) tendem a ser superiores a 0.5, que pode ser explicado pelo recente período chuvoso na região. Os valores em verde representam índices de vegetação com maior desenvolvimento, enquanto os níveis próximos ao vermelho representam baixos índices de vegetação com valores próximos a zero. Os valores baixos correspondem aos alvos urbanos como área construída, solo exposto e água. Assim, percebe-se que próximo as margens do rio São Francisco os valores do NDVI tendem a ser menores, quando comparados ao restante da região, em virtude da ocupação para atividade agrícola e presença de água.

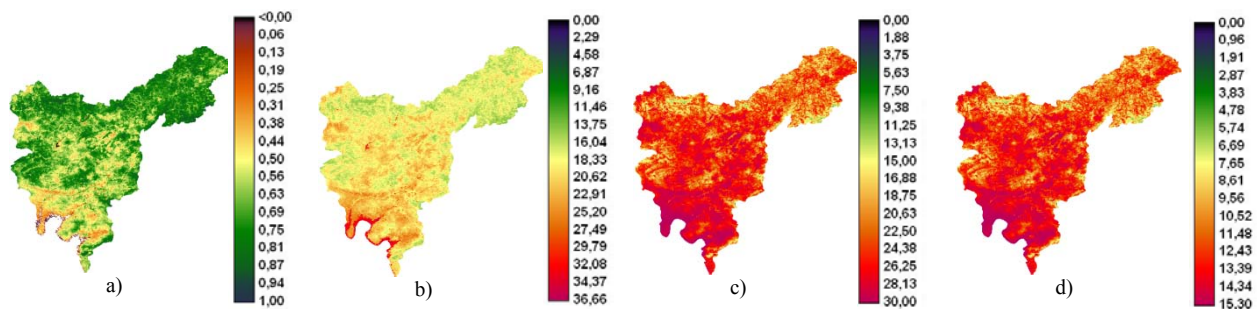


Figura 2. Espacialização do NDVI (a), razão G/Rn pelo modelo 1 (b) razão G/Rn pelo modelo 2 (c) e razão G/Rn pelo modelo 3 (d) para o dia 1 de maio de 2010.

Os valores estimados da razão G/R_n foram superiores a 15% de R_n em todos os modelos, todavia o modelo 1 (Figura 2b) apresentou os maiores valores de G/R_n , foram encontrados próximos a 30% para região que apresentaram os menores valores do NDVI, validando o modelo que relata que sob condições de solo nu ($NDVI \sim 0$), G pode ser próximo a 32% de R_n . Nas imagens para o dia 18 de junho de 2010 a distribuição espacial do NDVI (Figura 3a) apresenta um significativo aumento das áreas com valores inferiores a 0,5, possivelmente explicado pela redução da oferta hídrica e deficiência na capacidade de armazenamento de água pelos solos da região, todavia quando comparado a Figura 2a, após o período de cerca de 1 mês grande parte da área de estudo ainda apresenta em sua grande maioria uma boa cobertura vegetativa que resulta em valores inferiores a 15% da razão de G/R_n principalmente para região norte da bacia hidrográfica do rio Pajeú. De acordo com (Silva et al., 2009) em condições de pouca umidade no solo boa parte da energia que chega à superfície é usada para aquecer o ambiente, já para o caso de solo úmido, a maior parte da energia que chega é usada nos processos de evaporação/evapotranspiração. Logo a diminuição da oferta hídrica resulta no aumento da razão de G/R_n fazendo com que o ambiente também se aqueça em função da maior oferta de energia para o aquecimento da superfície.

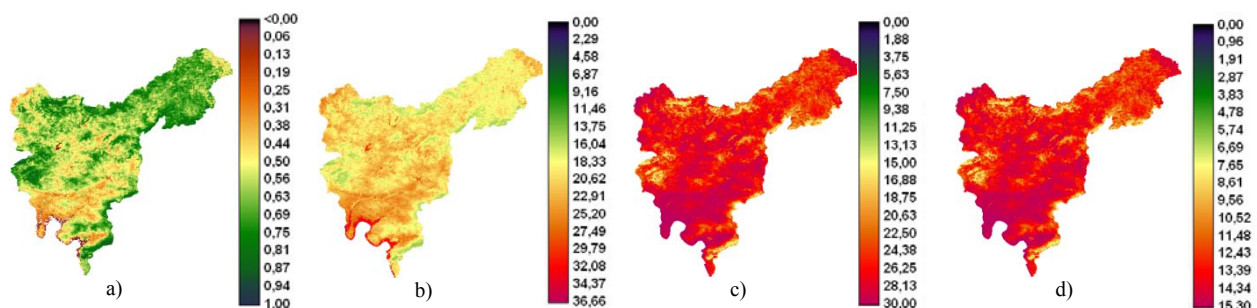


Figura 3. Espacialização do NDVI (a), razão G/R_n pelo modelo 1 (b) razão G/R_n pelo modelo 2 (c) e razão G/R_n pelo modelo 3 (d) para o dia 18 de junho de 2010.

Observa-se pela Figura 4a que grande parte da área da bacia hidrográfica apresenta valores de NDVI inferiores a 0,5, a redução da precipitação associado a grande demanda evapotranspirométrica da região faz-se com que a mudança da cobertura da superfície se altere quando comparado com o cenário do mês anterior (Figura 3a), a alteração da paisagem também é sentida na razão de G/R_n , para todos os modelos são observados valores máximos para quase todo o domínio da região.

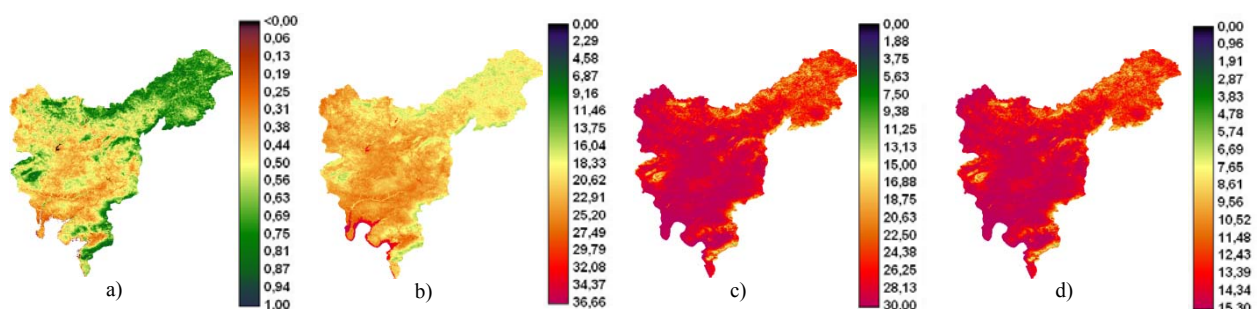


Figura 4. Espacialização do NDVI (a), razão G/R_n pelo modelo 1 (b) razão G/R_n pelo modelo 2 (c) e razão G/R_n pelo modelo 3 (d) para o dia 20 de julho de 2010.

Conclusões: De modo geral, as técnicas de processamento de imagem de satélites se mostraram eficientes no cômputo da razão de G/R_n . A variabilidade espaço temporal do NDVI esta diretamente relacionado a oferta hídrica, seja em função da precipitação ou armazenamento de água pelo solo. Observou-se os maiores valores de G/R_n para o período

mais seco e em todo o período de estudo para regiões de solo exposto e próximo as margens do rio São Francisco. Os modelos aplicados neste estudo podem melhorar os modelos agrometeorológicos espectrais utilizados para monitorar as terras agricultáveis da região.

Agradecimentos: Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

Allen, R.G., M. Tasumi, and R. Trezza. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. *J. Irrig. Drain. Engr.* v.133, n.4, p.380-394, 2007.

Bastiaanssen, W. G.M., M. Menenti, R. A. Feddes, and A. A. M. Holtslag. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL):1. Formulation. *J. Hydrol.* v.212-213, p.198-212, 1998.

Dugas, W. A., R. A. Hicks, and R. P. Gibbens. Structure and functions of C3 and C4 Chihuahuan desert plane communities: Energy balance components. *J. Arid Environment* v.34, p.63-79, 1996.

Heusinkveld, B. G., A. F. G. Jacobs, A. A. M. Holtslag, and S. M. Berkowicz. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agril. Forest Meteorol.* v.122, p.21-37, 2004.

Kustas, W. P and C. S. T. Daughtry. Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. *Agril. Forest Meteorol.* v.49, p.205-223, 1990.

Kustas, W. P., J. H. Prueger, J. I. Hatfield, K. Ramalingam, and L. E. Hipps. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agril. Forest Meteorol.*, v.103, n.3, p.249-264, 2000.

Malhi, Y., K. McNaughton, and C. Von Randow. Low frequency atmospheric transport and surface flux measurements: In: Lee, X., Massman, W., Law, B. (Eds.). *Handbook of Micrometeorology.* p.101-118, 2004.

Melesse, A. M., and V. Nangia. Estimation of spatially distributed surface energy fluxes using remotely-sensed data for agricultural fields. *Hydrological Processes.* v.19, p.2653-2670, 2005.

Silva, M. T.; Silva, V. P. R ; Campos, J. H. B. C. ; Amaral, J. A. B. Influência da umidade do solo nos fluxos de calor latente e sensível no Nordeste do Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia., Belo Horizonte, Anais... Santa Maria: SBAGro, 2009.

Stannard, D., J. Blanford, W. Kustas, W. Nichols, S. Amer, T. Schmugge, and M. Wertz. Interpretation of surface flux measurements in heterogeneous terrain during the Monsoon'90 experiment. *Water Resources Research.* v.30, p.1227-1239, 1994.

Van Leeuwen, W.J.D.; Huete, A.R.; Laing, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. *Remote Sensing of Environment,* v. 69, p.264-280, 1999.