

## Avaliação do modelo METRIC na estimativa do balanço de energia e da evapotranspiração em áreas de cana-de-açúcar com imagens Landsat

Bruno Silva Oliveira<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Marcos Carrasco-Benavides<sup>2</sup>  
Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>1</sup>  
Gabriel Bertani<sup>1</sup>  
Eder Paulo Moreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bruno.so, bete, mataveli, gabrielb, eder}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Escuela de Agronomía, Universidad Católica del Maule, Chile. Casilla 7D, Curicó, Chile.  
mcarrascob@ucm.cl

**Abstract.** This study aimed to apply the Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration (METRIC) model to estimate surface energy balance and daily actual evapotranspiration (ETa) for sugarcane crop in the administrative region of Ribeirão Preto, São Paulo State, using Landsat images from 2005 and 2007. Estimates generated were compared to observed data from a flux tower site, and the performance of the equations based on physical principles and empirical equations was evaluated. The net radiation (Rn) was equal to the observed values, considering a confidence level of 95%, with  $R^2=0.87$ , MAE=54.79 W.m<sup>-2</sup> and RMSE=64.47, showing a good performance of METRIC when modeling this variable based on physical laws. Soil heat flux (G) was estimated from an empirical equation and presented no satisfactory performance, underestimating the values by 34%. The internal calibration of sensible heat flux (H) allowed this term to absorb errors of Rn and G, leading to satisfactory values of latent heat flux (LE) and ETa. Results of t-test indicated that the estimated values of latent heat flux were equal to the observed data with a confidence level of 95%, showing  $R^2=0.86$ , MAE=13.93 W.m<sup>-2</sup> and RMSE= 25.36. The estimated ETa was also equal to the values observed, according to the t-test with a confidence level of 95%, presenting  $R^2=0.85$ , MAE=0.37 mm.day<sup>-1</sup> and RMSE= 0.49.

**Palavras-chave:** sugarcane, evapotranspiration, balanço de energia, cana-de-açúcar, evapotranspiração, balanço de energia.

### 1. Introdução

Desde a década de 70 o Brasil vem investindo no desenvolvimento automotivo baseado no álcool combustível (etanol), proveniente da cana de açúcar, numa tentativa de substituir a utilização do petróleo por uma energia limpa e mais barata. O etanol tem sido empregado tanto como aditivo à gasolina, quanto como combustível dos automóveis *flex*, inseridos no mercado nacional a partir do ano de 2003. Entre os anos de 2003 e 2013, a área plantada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo aumentou 92%, em decorrência da crescente demanda do produto para produção de etanol (INPE, 2014). Esse aumento de área plantada da cultura exige a conversão de áreas de outras culturas convencionais e pastagens em áreas de cana-de-açúcar, causando mudança no uso e ocupação da terra, que podem gerar impactos nos fluxos de energia na superfície e na evapotranspiração (LOARIE et al., 2011).

Entre as variáveis impactadas pela mudança de cobertura da terra, a evapotranspiração (ET) apresenta grande importância no ciclo hidrológico, relacionando-se com a energia, disponibilidade hídrica e com o clima. Segundo Costa (2002), a ET é o total de água transferida do solo, das superfícies livres, da vegetação úmida e da transpiração das plantas para a atmosfera.

A ET pode ser determinada por métodos físicos (lisimetria), métodos empíricos (equações empíricas ou experimentais) ou métodos com embasamento físico, que pressupõe que o processo de ET utiliza parte da energia disponível, representada pelo saldo de radiação,

para vaporizar a água. Estes métodos limitam as estimativas de ET a valores pontuais, no entanto pode-se utilizar o balanço hídrico para estimativas em grandes áreas (RUHOFF, 2011). Por ser uma combinação de fluxos de energia com grande variabilidade espacial, diária e sazonal (ALLEN et al., 2007), a aplicação operacional de estimativas de ET em grandes áreas exige dados espacializados.

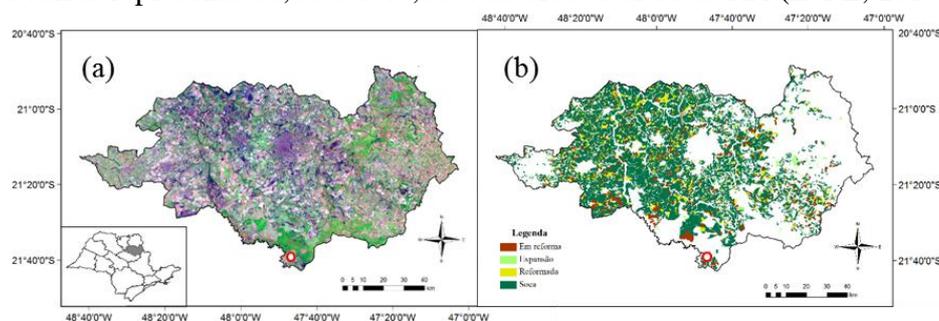
Nesse contexto, a aplicação de modelos de balanço de energia, alimentados com dados de sensoriamento remoto, permite realizar estimativas dos fluxos de energia e da ET para grandes áreas, com baixo custo e resoluções espacial e temporal adequadas para o monitoramento de culturas agrícolas. O modelo METRIC (ALLEN et al., 2007) foi desenvolvido para aplicações em escalas locais e regionais com a utilização de imagens Landsat e dados meteorológicos de superfície. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o modelo METRIC na estimativa dos fluxos de energia para áreas de cana-de-açúcar na Região Administrativa de Ribeirão Preto, em São Paulo, utilizando dados obtidos de uma torre de monitoramento de fluxos turbulentos e imagens TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat7.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo foi a Região Administrativa de Ribeirão Preto, localizada no centro-norte do Estado de São Paulo (Figura 1), sendo composta por 25 municípios, que ocupam uma área total de 934 800 ha, um total de 3,8% do território paulista, e população de 1.247.761 habitantes. Possui clima tropical, relevo suave e plano, com solos adequados ao desenvolvimento de agricultura tropical (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

Segundo o mapeamento do Projeto Canasat (INPE, 2014), a RA de Ribeirão Preto apresentou uma área cultivada de cana-de-açúcar de aproximadamente 433 mil ha na safra 2005 e 447 mil ha na safra 2006, representando respectivamente 12,88% e 12,21% da área total cultivada no Estado de São Paulo. Verifica-se ainda que a área cultivada de cana-de-açúcar nessas duas safras representa 46,36% e 47,85% da área total desta RA (INPE, 2014).



**Figura 1.** (a) Localização da RA de Ribeirão Preto no Estado de São Paulo; (b) áreas de cana-de-açúcar na RA de Ribeirão Preto no ano de 2006. O círculo vermelho indica a localização do sítio experimental em área de cana-de-açúcar. Fonte: INPE (2014).

### 2.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos de entrada do modelo e as medidas de fluxos de energia em superfície foram obtidos em um sítio experimental localizado no município de Luiz Antônio-SP, sobre uma plantação da Companhia Energética Santa Rita (USR). A área de cana (>400 ha) apresentava distância entre linhas de 1,4m e declividade menor que 2% e era rodeada por pasto, plantação de citrus e áreas de cerrado (CABRAL et al, 2012; GOMES, 2009). O solo da área é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com composição textural de 22% argila, 74% areia e 3% silte.

As variáveis medidas em campo, bem como os sensores utilizados e posição de medição são descritas com detalhes por Tatsch (2006). Para alimentar o modelo METRIC utilizou-se a velocidade do vento (m/s) e a temperatura da atmosfera (°C). Os fluxos de calor no solo, calor

sensível, calor latente e o saldo de radiação foram utilizados para comparação das estimativas do modelo METRIC na *pixel* referente à localização geográfica do sítio experimental.

### 2.3. Dados de satélite

Os dados de satélite utilizados correspondem a imagens Landsat livres de nuvens obtidas na órbita/ponto 220/75, na forma do produto CDR (*Climate Data Record*) disponibilizado pelo USGS (*United States Geological Survey*). Esse produto é processado com o algoritmo de correção atmosférica do MODIS para os dados de nível 1 do TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7 (PONZONI et al., 2014) e fornece a reflectância da superfície nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e a temperatura da superfície (banda 6). As datas das simulações (Tabela 1) foram selecionadas de acordo com a qualidade dos dados medidos em superfície (sem cobertura de nuvens durante todo o dia), ausência de chuvas nos dias anteriores à passagem do satélite, qualidade da imagem Landsat, além de corresponder às diferentes fases do ciclo fenológico da cana-de-açúcar.

**Tabela 1.** Datas das simulações com o modelo METRIC para a RA de Ribeirão Preto.

Data	Dia do ano	Sensor	Data	Dia do ano	Sensor
10/09/2005	253	ETM+/Landsat 7	05/09/2006	248	TM/Landsat 5
21/11/2005	325	TM/Landsat 5	13/09/2006	256	ETM+/Landsat 7
14/04/2006	104	TM/Landsat 5	23/10/2006	296	TM/Landsat 5
30/04/2006	120	TM/Landsat 5	03/05/2007	123	TM/Landsat 5
16/05/2006	136	TM/Landsat 5			

### 2.4. Modelagem do Balanço de energia e Evapotranspiração

O modelo utilizado foi o METRIC (*Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration*) (ALLEN et al., 2007), que foi implementado no *Model Maker* do software *ERDAS IMAGINE* e alimentado com os dados meteorológicos e as imagens Landsat. A condição de umidade do solo foi avaliada por meio de um balanço hídrico simplificado na área do sítio experimental, conforme descrito por Allen (1998), verificando a existência de umidade residual no solo (no caso de chuva em dias anteriores à data de cada imagem), o que influenciaria a calibração do modelo para os *pixels* âncora, conforme discutido por Tasumi (2003).

A evapotranspiração real diária ( $ET_a$ ) é estimada através do fluxo de calor latente, que por sua vez é obtido como termo residual do balanço de energia na superfície (Equação 1).

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

em que LE é o fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ ),  $R_n$  é o balanço de radiação ( $W m^{-2}$ ), G é o fluxo de calor no solo ( $W m^{-2}$ ) e H é o fluxo de calor sensível ( $W m^{-2}$ ).

O balanço de radiação ( $R_n$ ) é calculado como a diferença entre a irradiância solar incidente e radiação infravermelha distante refletida ou emitida pela superfície terrestre (Equação 2).

$$R_n = K_d(1 - \alpha) + L_{w\downarrow} - L_{w\uparrow} - (1 - \epsilon_s)L_{w\downarrow} \quad (2)$$

em que  $K_d$  é a irradiância solar incidente na superfície ( $W m^{-2}$ ),  $\alpha$  e  $\epsilon_s$  são, respectivamente, o albedo (estimado segundo o método de Liang (2000)) e a emissividade da superfície;  $L_{w\downarrow}$  e  $L_{w\uparrow}$  são, respectivamente, a radiação infravermelha termal emitida pela atmosfera e pela superfície ( $W m^{-2}$ ), calculados conforme descrito Allen et al. (2007).

O fluxo de calor no solo (G) é a quantidade de calor transferida ao solo por condução. No METRIC, o G é estimado para cada *pixel* por uma equação empírica, conforme proposto por Bastiaansen (2000).

$$G = R_n \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98 NDVI^4) \right] \quad (3)$$

em que  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}\text{C}$ ) e NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada (ROUSE et al., 1974) calculado para cada *pixel*.

O fluxo de calor sensível ( $H$ ) é modelado como uma troca de calor para o ar por condução (Equação 7), por uma relação linear entre a resistência aerodinâmica e a diferença de temperatura entre a superfície e o a atmosfera ( $\Delta T$ ), conforme descrito por Allen et al. (2007).

$$H = \frac{T_s - T_a}{r_a} \rho_a c_p \quad (4)$$

em que  $T_a$  é a temperatura do ar ( $\text{K}$ ) na camada mais baixa logo acima da superfície,  $r_a$  é a resistência aerodinâmica para transferência de calor ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $\rho_a$  e  $c_p$  são, respectivamente, a massa específica do ar ( $1,15 \text{ kg m}^{-3}$ ) e o calor específico do ar a pressão constante ( $1,004 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) (ALLEN et al., 2007).

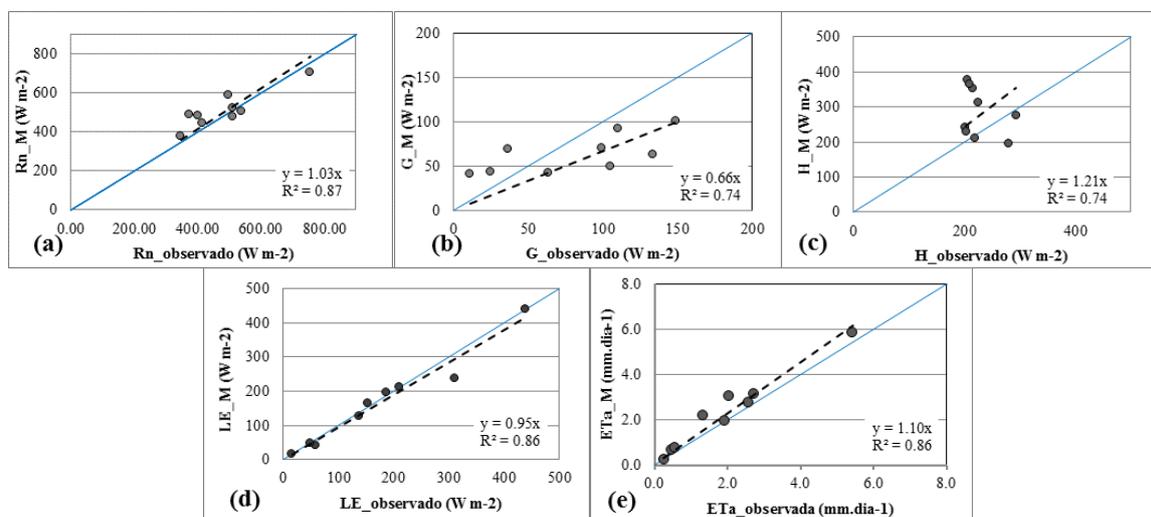
Nessa etapa, os valores de  $r_a$  e  $\Delta T$  são internamente calibrados para duas condições extremas (seca e úmida) utilizando *pixels* âncora (*pixels* quente e frio), selecionados pelo usuário, além de realizar um processo iterativo detalhado por Allen et al. (2007), que envolve a Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov.

O fluxo de calor latente ( $LE$ ) é obtido como o termo residual do balanço de energia, (Equação 1). A  $ET$  real diária ( $ET_a$ ) é calculada para cada *pixel* considerando que a fração da  $ET$  de referência ( $F$ ) é constante ao longo do dia (8:00 às 18:00), conforme descrito por Allen et al. (2007). Desse modo, a evapotranspiração instantânea é extrapolada para o valor acumulado diário ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ).

As estimativas dos fluxos de calor e da evapotranspiração realizadas com o modelo METRIC foram comparadas com os valores observados no sítio experimental na área de cana-de-açúcar, por meio de análise de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e erro absoluto médio (MAE) (MAYER; BUTLER, 1993). Além disso, com um teste  $t$  foi verificado se a relação entre as estimativas e os valores observados foi diferente de 1, com nível de confiança de 95%.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos no *pixel* do sítio experimental e os dados observados *in situ*, comparados por análise de regressão. Os resultados do teste estatístico são apresentados na Tabela 2.



**Figura 2.** Comparação entre as estimativas observadas e calculadas com o METRIC: (a) saldo de radiação ( $Rn$ ); (b) fluxo de calor no solo ( $G$ ); (c) fluxo de calor sensível ( $H$ ); (d) fluxo de calor latente ( $LE$ ) e (e) evapotranspiração real diária ( $ET_a$ ). A linha azul representa a proporção 1:1.

**Tabela 2.** Resultados da avaliação estatística das variáveis estimadas pelo METRIC em comparação com os valores observados *in situ*. MAE é o erro absoluto médio, RMSE é a raiz quadrada do erro quadrático médio, b é a razão entre a variável estimada e a observada, R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação, V é aceitação da hipótese nula (b=1) no teste t, com um nível de confiança de 95%.

Teste	MAE	RMSE	b	R <sup>2</sup>	Teste t
R <sub>n_Metric</sub> VS. R <sub>n_obs</sub>	54,79 W.m <sup>-2</sup>	64,47	1,03	0,87	V
G <sub>Metric</sub> VS. G <sub>obs</sub>	35,96 W.m <sup>-2</sup>	39,90	0,66	0,74	F
H <sub>Metric</sub> VS. H <sub>obs</sub>	81,30 W.m <sup>-2</sup>	100,62	1,21	0,78	F
LE <sub>Metric</sub> VS. LE <sub>obs</sub>	13,93 W.m <sup>-2</sup>	25,36	0,95	0,86	V
ET <sub>a_Metric</sub> VS. ET <sub>a_obs</sub>	0,37 mm dia <sup>-1</sup>	0,49	1,10	0,85	V

O saldo de radiação estimado pelo METRIC foi 3% maior do que o observado, com R<sup>2</sup>=0,87, com MAE= 54,79 W.m<sup>-2</sup> e RMSE= 64,47 (Tabela 2). O teste t indicou, com um nível de confiança de 95%, que o R<sub>n</sub> estimado pelo METRIC foi igual ao observado em campo (b=1), conforme apresentado na Tabela 2. Os erros obtidos para essa variável se devem principalmente a desvios nas estimativas de albedo, que próximas ao início do plantio sofrem maior interferência do solo na resposta espectral da superfície; e da temperatura de superfície, que influencia o total de radiação de ondas longas emitidas. Dessa forma, o R<sub>n</sub> é sensível a outros parâmetros que devem ser estimados adequadamente com os dados de satélite.

O fluxo de calor no solo (Figura 2b) é a estimativa que apresenta maiores problemas de precisão na modelagem com dados de sensoriamento remoto (BASTIAANSEN, 2000; GOMES, 2009; RUHOFF, 2011). De maneira geral, o METRIC subestimou esse fluxo em 34%, com índice de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,74, MAE = 65,96 W.m<sup>-2</sup> e RMSE=39,90. O teste t indicou que os valores modelados são diferentes dos observados (b≠1), com um nível de confiança de 95%. Apesar do coeficiente de determinação obtido, a dispersão dos pontos mostra baixa correlação entre os valores observados e estimados. O valor estimado de G varia entre 41 Wm<sup>-2</sup> e 100 W m<sup>-2</sup> nas datas de processamento do METRIC, embora as medidas de campo tenham chegado a 148 Wm<sup>-2</sup>. Gomes (2009) apresenta valores de G acima de 80 W m<sup>-2</sup> para áreas de solo exposto, após a colheita da cana-de-açúcar. A equação (3) foi ajustada para uma área de culturas irrigadas próximas a Kimberly, Idaho (Estados Unidos), e segundo Allen (2002), ela deve ser usada com cautela, se possível comparando os valores estimados com dados medidos em campo, pois diferentes tipos de cobertura da terra e diferentes tipos de solo influenciam diretamente no desempenho do modelo para outras regiões.

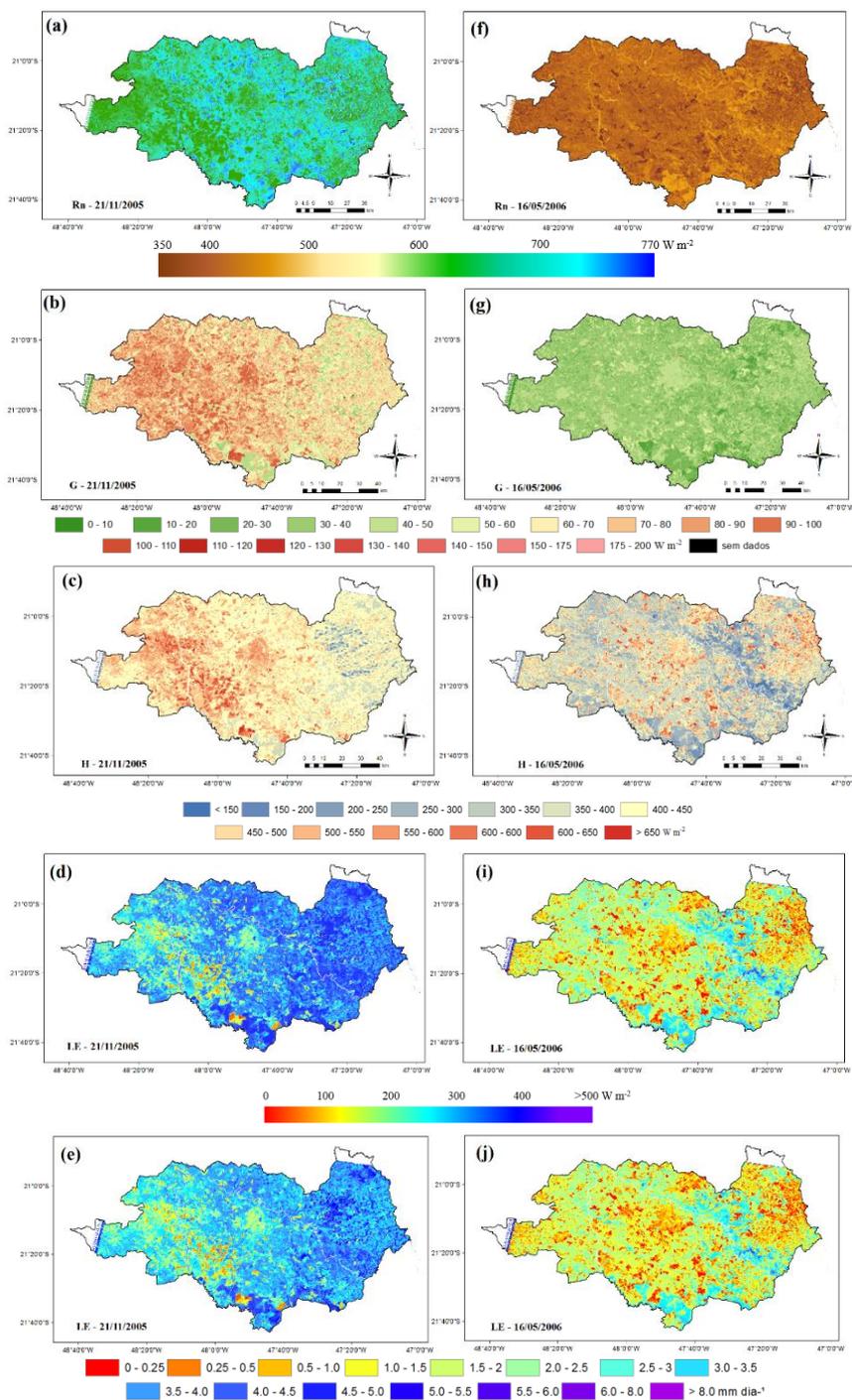
O fluxo de calor sensível foi superestimado em 21% pelo METRIC (Figura 2c), com R<sup>2</sup>=0,78, MAE=81,30 W.m<sup>-2</sup> e RMSE=100,62, além do resultado negativo para o teste t (H<sub>0</sub>: b=1). Apesar do índice de determinação obtido, a dispersão dos pontos mostra baixa correlação entre os valores observados e estimados. Esse é um resultado esperado, pois a calibração de duas condições extremas (seco e úmido) leva essa variável a absorver o erro das estimativas de R<sub>n</sub> e G, reduzindo o erro em LE (CARRASCO-BENAVIDES et al., 2012; SCHERER-WARREN, 2011). De acordo com Gomes (2009), maiores valores de H no período úmido estão relacionados com maiores valores de R<sub>n</sub>, enquanto que na estação seca o estado da vegetação favorece a troca de energia por calor sensível, principalmente devido ao menor índice de área foliar. É importante destacar ainda que nas imagens do período seco, por ausência de *pixels* frios adequados, houve dificuldade em calibrar o modelo, o que levou a maiores desvios relativos nas estimativas de LE.

O fluxo de calor latente (LE) (Figura 2d) estimado pelo METRIC foi 5% menor do que o observado no sítio experimental, com R<sup>2</sup>=0,86, MAE=13,93 W.m<sup>-2</sup> e RMSE=25,36. O teste t mostra ainda que os valores estimados e observados são iguais (b=1), com um nível de confiança de 95% (Tabela 2). Esse resultado mostra que os erros na estimativa de R<sub>n</sub> e G são absorvidos pela calibração de H, conforme afirmado por Carrasco-Benavides et al. (2012).

Durante o período avaliado, o LE estimado pelo METRIC variou entre  $16 \text{ W.m}^{-2}$  e  $440 \text{ W.m}^{-2}$ , com maiores erros relativos ocorrendo geralmente nas datas do período seco, após a colheita.

Para a evapotranspiração real diária, de acordo com o teste t, com um nível de confiança de 95%, os valores estimados pelo METRIC foram iguais aos observados *in situ* (Tabela 2), com  $R^2=0,86$  com  $\text{MAE}= 0,41 \text{ mm.dia}^{-1}$  e  $\text{RMSE}=0,55$ . Os valores estimados de  $\text{ET}_a$  variaram entre  $0,26 \text{ mm.dia}^{-1}$  (período seco) e  $5,83 \text{ mm.dia}^{-1}$  (época chuvosa).

A Figura 4 apresenta exemplos dos mapas gerados com as estimativas do modelo METRIC para a RA de Ribeirão Preto, em uma data do período chuvoso (21/11/2005) e uma mais próxima ao período seco (16/05/2006).



**Figura 4.** Mapas de  $R_n$  - saldo de radiação (a e f),  $G$  - fluxo de calor no solo (b e g),  $H$  - fluxo de calor sensível (c e h),  $LE$  - fluxo de calor latente (d e i) e  $ET_a$ -evapotranspiração real diária (e e j) para a Região Administrativa de Ribeirão Preto nas datas 21/11/2005 e 16/05/2006.

Para o saldo de radiação (Figura 4a e 4f), verifica-se o efeito da sazonalidade, que é diretamente dependente da irradiância solar ( $K_i$ ), com maiores valores de  $R_n$  na data de 21/11/2005. Para essa data, nota-se que os menores valores ( $\sim 630 \text{ W.m}^{-2}$ ) ocorrem na porção oeste da RA, devido ao maior albedo das áreas de cana-de-açúcar recém-colhidas, em condição de solo exposto ou coberta por palha, o que atua reduzindo o  $R_n$ .

Os mapas de fluxo de calor no solo (Figuras 4b e 4g) mostram maiores valores da variável em 21/11/2005. Embora tal resultado fosse esperado, devido a essa data ter mais energia disponível para trocas de calor (maior  $R_n$ ), os altos erros das estimativas realizadas com a equação empírica de  $G$  geram dúvida com relação aos seus respectivos valores em cada *pixel* da imagem. O mesmo vale para o fluxo de calor sensível (Figuras 4c e 4h), que apesar de mostrar diferença entre as duas datas, absorve os erros de  $R_n$  e  $G$  devido a calibração interna do modelo, reduzindo a confiabilidade nos valores estimados para cada *pixel*.

Para analisar os mapas de LE e ETa é necessário levar em conta que as datas de plantio e colheita na área de cana do sítio experimental não são simultâneas às outras áreas de cana-de-açúcar da RA de Ribeirão Preto. Na parte oeste da RA, onde a cana-de-açúcar está mais concentrada (Figura 1b), verifica-se que o padrão de LE e ETa se diferencia nas duas datas, refletindo a diferença de condição da cultura no campo. Em 16/05/2006 algumas áreas de cana-de-açúcar já passaram pela colheita, encontrando-se com solo exposto ou cobertura por palha, notando-se portanto menores valores de LE e ETa. A ocorrência de chuvas no mês de novembro de 2005 reflete diretamente nos valores de LE e ETa observados na imagem desse mês (Figuras 4d e 4e). Isso mostra o quanto a umidade residual do solo contribui na evapotranspiração, além da importância de modelar o balanço hídrico da área, que neste estudo foi realizado pelo método FAO56 (ALLEN et al., 1998).

#### 4. Conclusões

Este estudo permitiu avaliar o desempenho do modelo METRIC através da análise de cada componente estimada pelo mesmo. Foi verificado que para o saldo de radiação, cujos termos são estimados com base em leis físicas como a Lei de Stefan-Boltzmann, os resultados foram mais próximos aos observados *in situ*, enquanto para o fluxo de calor no solo, por ser calculado por uma equação empírica, função de algumas variáveis também estimadas (como albedo e NDVI), os resultados não foram satisfatórios. Ajustes na equação com relação aos tipos de solo e condições de vegetação características da área de estudo, ou mesmo a utilização de outras variáveis na estimativa podem levar a melhores resultados.

A calibração do METRIC permitiu que os erros oriundos das estimativas de  $R_n$  e  $G$  fossem absorvidos por  $H$ , mostrando-se eficiente na modelagem de LE e da ETa, cujos valores estimados no sítio experimental foram compatíveis com os descritos na literatura. A calibração de  $H$  é o ponto forte do METRIC, mas também é um ponto fraco, pois  $H$  acaba tornando-se um termo descartável na análise do balanço de energia, devido aos altos desvios a ele associados. Apesar das limitações, o modelo METRIC foi capaz de estimar a ETa no sítio experimental e na RA de Ribeirão Preto, mostrando-se uma ferramenta útil na espacialização da evapotranspiração com dados de sensoriamento remoto.

#### Agradecimentos

Ao CNPq pelo suporte financeiro e ao Dr. Humberto Ribeiro da Rocha do Departamento de Ciências Atmosféricas (IAG/USP) pela disponibilização dos dados.

#### Referências Bibliográficas

Allen, L. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and drainage paper 56).

- Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) advanced training and user's manual** - Idaho implementation. Idaho: Idaho University, 2002. 98 p.
- Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. **Journal of irrigation and drainage**. v.133, n.4, p. 380-394, 2007.
- Bastiaanssen, W. G. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, 2000.
- Cabral, O. M. R.; Rocha, H. R.; Gash, J. H.; Ligo, M. A. V.; Tatsch, J. D.; Freitas, H. C.; Brasílio, E. Water use in a sugarcane plantation. **GCB Bioenergy**, v. 4, n. 5, p. 555-565, 2012.
- Carrasco-Benavides; M.; Ortega-Farías, S.; Lagos, L. O.; Kleissl, J.; Morales, L.; Poblete-Echeverría, C.; Allen, R. G. Crop coefficients and actual evapotranspiration of a drip-irrigated Merlot vineyard using multispectral satellite images. **Irrigation Science**, v. 30, n. 6, p. 485–497, 15 ago. 2012.
- Costa, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional considerações teóricas**. Primeira versão. Ano 1, nº 122, Porto Velho: UFRO, set 2002.
- Gomes, H. B. **Balances de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no Estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 108p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- Governo do Estado de São Paulo. **Caracterização socioeconômica das regiões do Estado de São Paulo: Região Administrativa de Ribeirão Preto**. Disponível em: <[http://www.planejamento.sp.gov.br/noti\\_anexo/files/uam/trabalhos/Ribeir%20C3%A3o%20Preto.pdf](http://www.planejamento.sp.gov.br/noti_anexo/files/uam/trabalhos/Ribeir%20C3%A3o%20Preto.pdf)> Acesso em: 04 ago. 2014.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). **Canasat - Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. 2014. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>> Acesso em: 12 jan. de 2014.
- Liang. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76 n.1, p. 213–238, 2000.
- Loarie, S. R.; Lobell, D. B.; Asner, G. P.; Mu, Q.; Field, C. B. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 2, p. 105-109, 2011.
- Mayer D. G.; Butler D. G. Statistical validation. **Ecological Modelling**, v.68, p.21–32, 1993.
- Ponzoni, F.J.; Macarringue, L.S.; Santos, S.B.; Junior, J.L.S. Comparação entre fatores de reflectância gerados a partir de dados dos sensores TM/Landsat 5 e MODIS/Terra aplicando diferentes metodologias de conversão de dados. **Revista Brasileira de Cartografia**. N.66/1. p.263-270, 2014.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. **Proceedings...**Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351).
- Ruhoff, A. L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. 2011. 162p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- Scherer-Warren. **Metodologia para construção de séries temporais de evapotranspiração por técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2011. 150p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília,, Brasília, 2011.
- Tasumi, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 2003, 357p. Tese (PhD. *Biological and Agricultural Engineering*). University of Idaho, Idaho, 2003.
- Tatsch, J. D. **Uma análise dos fluxos de superfície e do microclima sobre Cerrado, Cana-de-açúcar e Eucalipto, com implicações para mudanças climáticas regionais**. 2006, 132p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- USGS – Department of the Interior U. S. Geological Survey. **Product Guide – Landsat climate data record (CDR) surface reflectance and normalized difference vegetation index (NDVI) derived from global land survey (GLS) collections**. Version 1.0, January 2013.