



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

BALANÇO DE ENERGIA COM IMAGENS LANDSAT 8 EM LIMOEIROS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NO SUDESTE DO BRASIL

Antônio Heriberto de Castro Teixeira ^(a), Tiago Barbosa Struiving ^(b), Janice Freitas Leivas ^(c), João Batista Ribeiro da Silva Reis ^(d) Fúlvio Rodriguez Simão ^(d)

^(a) Embrapa Tabuleiros Costeiros, heriberto.teixeira@embrapa.br

^(b) Associação dos Produtores de Limão, struiving@gmail.com

^(c) Embrapa Territorial, janice.leivas@embrapa.br

^(d) Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, [jbrsreis, fulvio]@epamig.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo/

Este trabalho visou dar suporte ao manejo racional da água na cultura do limoeiro irrigado sob diferentes sistemas de irrigação nas atuais situações de restrição hídrica. O algoritmo SAFER foi aplicado em imagens Landsat 8, usando-se dados climáticos de 2015, na modelagem dos componentes do balanço de energia. Os valores dos fluxos de calor latente (λE) e sensível (H) mais elevados e inferiores, respectivamente, ocorreram para sistemas de irrigação por pivôs. Considerando a fração evaporativa (E_f) como um indicador de umidade na zona das raízes, para os três sistemas de irrigação analisados, os valores chegaram acima de 1,00 e 1,30 para irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) e por pivôs, respectivamente, nas fases generalizadas do crescimento dos frutos à colheita. O conhecimento desta fração é relevante para a agricultura de precisão, considerando as mudanças climáticas e de uso da terra, sob condições de irrigação nas regiões semiáridas do Brasil.

Palavras chave: saldo de radiação, fração evaporativa, *Citrus limon* L.

1. Introdução

Dentre os países produtores de limão (*Citrus limon* L.) no mundo, o Brasil se destaca como o de maior produção, estando o estado de Minas Gerais (MG) na segunda colocação no ranking nacional.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O cultivo comercial vem progredindo nas condições semiáridas do Norte do Estado, em virtude do projeto de irrigação Jaíba, graças às condições favoráveis à irrigação. Entretanto, cautelas devem ser tomadas quanto à rápida substituição da vegetação natural nas regiões semiáridas brasileiras, que altera os componentes do balanço de energia (TEIXEIRA et al., 2017).

Poucas pesquisas já foram realizadas com relação aos componentes do balanço de energia na cultura do limoeiro irrigado no Brasil. Além das variações espaciais destes componentes de acordo com as condições ambientais, estes também variam com as condições de umidade do solo, as quais dependem do manejo de irrigação (PEDROSO et al., 2014).

O objetivo do atual trabalho foi a aplicação do SAFER – *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*, com imagens Landsat 8 em limoeiro sob diferentes sistemas de irrigação no ano de 2015, objetivando subsídios ao manejo da água sob as condições de irrigação na região semiárida do Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

2. Materiais e Métodos

A Figura 1 mostra a localização das áreas cultivadas com limoeiro sob diferentes sistemas de irrigação no município de Matias Cardoso, estado do Minas Gerais (MG), região semiárida do Sudeste do Brasil, juntamente com a estação agrometeorológica utilizada na modelagem em larga escala dos componentes dos balanços de energia. As cenas do Landsat 8 foram de ponto/órbita 218/70, 218/71 e 219/70, com sobreposições das passagens do satélite na área estudada. Uma composição RGB (“Red”, “Green”, “Blue”) para o dia juliano (DJ) 211 é usada como base.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

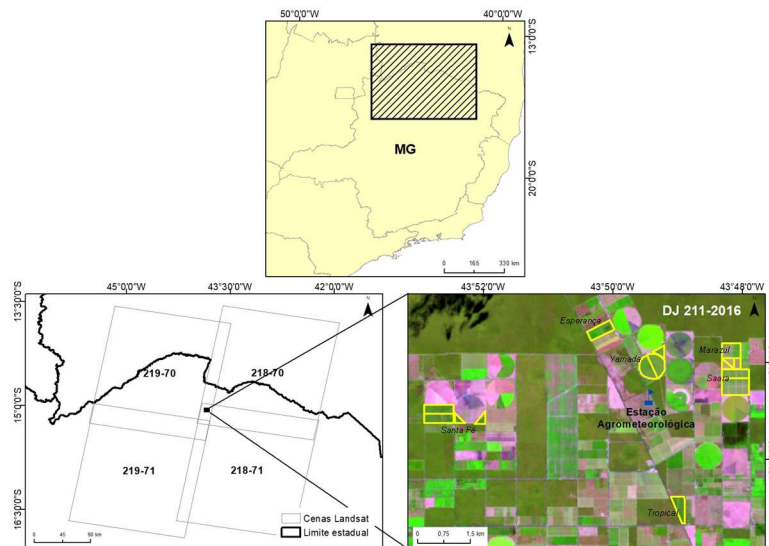


Figura 1 – Localização das áreas cultivadas com limoeiro irrigado no município de Matias Cardoso, região semiárida de Minas Gerais (MG), Sudeste do Brasil, juntamente com a estação agrometeorológica utilizada.

De acordo com Lumberras et al. (2014) as precipitações médias da região de estudo situam-se abaixo de 900 mm ano^{-1} , concentrando-se nos primeiro e no trimestre do ano. A região é caracterizada por valores de temperatura do ar elevados, típicos do clima tropical, com médias anuais em torno de 24°C e máximas, entre 31 e 32°C , estas últimas ocorrendo de setembro a outubro enquanto que junho e julho são os meses mais frios, com mínimas variando de 14 a 17°C .

No perímetro irrigado Jaíba as colheitas de limão ocorrem durante o ano inteiro, com dois períodos de pico – entre novembro/janeiro e junho/julho. A Tabela 1 apresenta as fases fenológicas generalizadas consideradas pelos produtores da região.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Tabela 1. Fases fenológicas consideradas para a cultura do limoeiro irrigado no Norte de Minas Gerais, região semiárida do Sudeste do Brasil.

MÊS/ FASE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
F			X	X				X	X			
CF				X	X	X			X	X	X	
PC	X	X				X	X	X			X	X

*F – Florada; CF – Crescimento dos frutos; PC – Pico de colheita

O limoeiro no Norte de Minas Gerais tem múltiplas floradas durante o ano, com as parcelas irrigadas apresentando diferentes fases em uma mesma planta. Contudo a intensidade de florescimento depende das condições climáticas e umidade na zona das raízes.

Uma estação agrometeorológica foi instalada nas proximidades das fazendas estudadas (ver Figura 1), cujos dados diários foram usados em conjunto com as imagens Landsat 8 adquiridas em diferentes condições termo hídricas do ano de 2015. Os dados de radiação solar global (R_G), temperatura média do ar (T_a) e evapotranspiração de referência (ET_0) foram usados em conjunto com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, o albedo da superfície (α_0) e o Índice Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI).

As sobreposições das passagens do satélite apresentadas deram a oportunidade de aquisição de 27 imagens, sendo que quando houveram problemas de nebulosidade, os valores espaciais de α_0 e NDVI foram interpolados sucessivamente, utilizando-se os dados climáticos para os dias com céu encoberto, resultando em um total de 52 imagens ao longo do ano, suficientes para caracterização dos componentes do balanço de energia nas fases fenológicas. As bandas 1 a 7 foram usadas na determinação de α_0 e NDVI, enquanto que a temperatura da superfície (T_0) foi obtida como resíduo no balanço de radiação. Detalhes da metodologia são descritos em Teixeira et al. (2017), sendo aqui as equações principais resumidas.

Para toda a faixa do visível o albedo planetário (α_p) foi obtido como a soma dos valores para cada banda (α_{p_b}) de acordo com seus pesos (w_b).

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

Para a estimativa de α_0 , correções atmosféricas para os valores de α_p foram aplicadas através de regressões obtidas de medições conjuntas prévias de campo e por sensoriamento remoto.

A radiação atmosférica (R_a) foi calculada através da lei de Stefan-Boltzmann:



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

$$R_a = \sigma \varepsilon_A T_a^4 \quad (2)$$

em que T_a foi medida na estação agrometeorológica e a emissividade atmosférica (ε_A) obtida em função da transmissividade atmosférica (τ_{sw}).

Com a radiação solar global incidente (R_G) medida na estação agrometeorológica e multiplicando-se por α_0 os valores diários da radiação solar global refletida (R_R) foi estimada.

Os valores diários do saldo de radiação (R_n) foram calculados através da equação de Slob.

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw} \quad (3)$$

em que o coeficiente de regressão a_L foi especializado através da sua relação com T_a (Teixeira et al., 2008).

Tendo-se R_G , R_R , R_a e R_n , a radiação de ondas longas emitida (R_s) foi estimada como resíduo no balanço de radiação e a temperatura da superfície (T_0) foi obtida:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{R_s}{\varepsilon_s \sigma}} \quad (4)$$

onde ε_s é a emissividade da superfície a qual foi relacionada com os valores de NDVI e σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Aplicando-se o algoritmo SAFER, a razão da evapotranspiração atual (ET), para a de referência (ET₀), a ET_r, foi modelada no momento da passagem do satélite:

$$ET_r = \exp \left[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (5)$$

onde a_{sf} e b_{sf} são coeficientes de regressão.

Os valores diários de ET₀ foram então multiplicados por ET_r, fornecendo a ET em larga escala, a qual então foi transformada em unidades de energia, resultando nas taxas diárias de fluxo de calor latente (λE).

Estimando-se o fluxo de calor no solo (G) como uma fração de R_n , o fluxo de calor sensível (H) foi obtido como resíduo na equação do balanço de energia.

Para análises das condições de umidade na zona das raízes, a fração evaporativa (E_f) foi usada:

$$E_f = \frac{\lambda E}{(R_n - G)} \quad (6)$$



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3. Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta as tendências dos totais médios quinzenais dos pixels para precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_0) em termos de dias julianos (DJ) no município de Matias Cardoso, Norte de Minas Gerais (MG), região semiárida do Sudeste do Brasil, durante o ano de 2015.

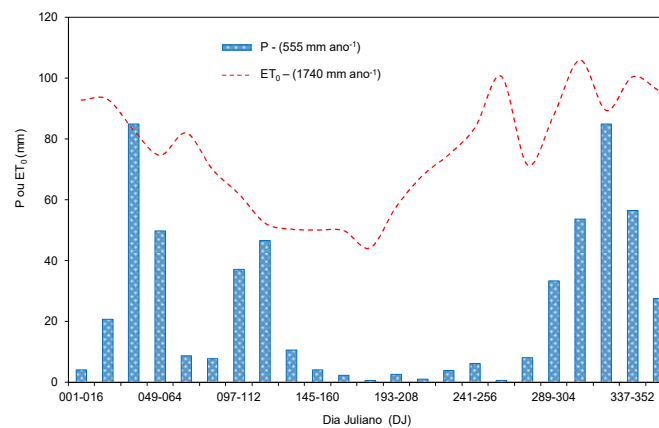


Figura 2 – Tendências dos valores quinzenais da precipitação (P) e da evapotranspiração de referência (ET_0) de acordo com intervalos de dias julianos (DJ) durante o ano de 2015 no município de Matias Cardoso, estado do Minas Gerais (MG), região semiárida do Sudeste do Brasil.

A precipitação (P) foi mais variável que a evapotranspiração de referência (ET_0). As chuvas se concentraram no início e no final do ano, o que está de acordo com Lumbreras et al. (2014). Os períodos mais secos e longos, com os valores quinzenais de P abaixo de 5 mm, foram de DJ 160 a 289, inferiores em 10% da ET_0 . Entretanto, percebe-se estiagens no início de janeiro no período de DJ 064 a 097 durante a estação chuvosa, com P correspondente à apenas 4% da ET_0 .

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos valores médios trimestrais do saldo de radiação (R_n) no ano de 2015, na região semiárida do Norte do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Destaques são dados para as áreas com a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

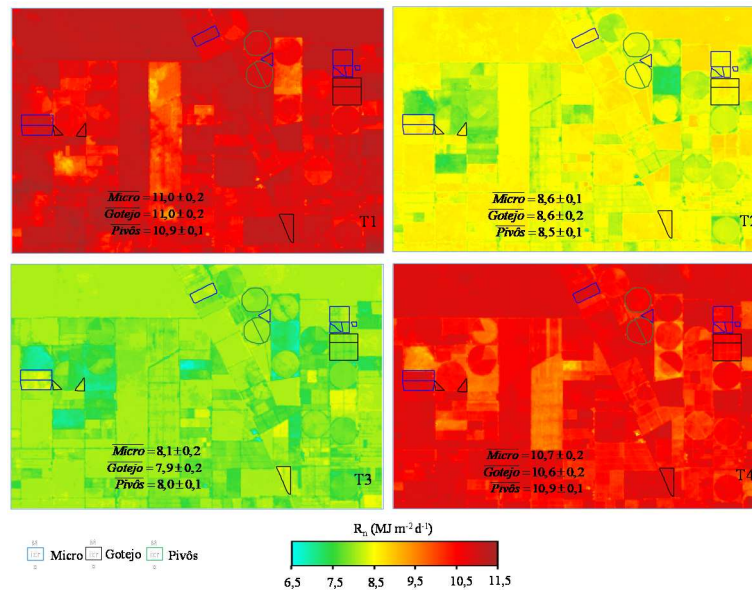


Figura 3 – Distribuição espacial dos valores médios trimestrais do saldo de radiação (R_n). Destaques para a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs. T1 – primeiro trimestre; T2 – segundo trimestre; T3 – terceiro trimestre; T4 – quarto trimestre.

Os valores de R_n foram mais fortemente influenciado pelos níveis de R_G que pelos sistemas de irrigação ou fase da cultura, apresentando baixas variações espaciais de acordo os desvios padrões. A fração de R_G transformada em R_n , indiferentemente do sistema de irrigação, variou de 44% no segundo trimestre a 49% no primeiro e último trimestre, estando de acordo com medições de campo realizadas nas condições semiáridas do Brasil (TEIXEIRA et al., 2008), o que fornece confiança na aplicação do SAFER usando as bandas nas faixas do visível e do infravermelho próximo do Landsat 8 em conjunto com dados climáticos.

A Figura 4 mostra a distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor latente (λE) no ano de 2015, na região semiárida do Norte do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Destaques são dados para as áreas com a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

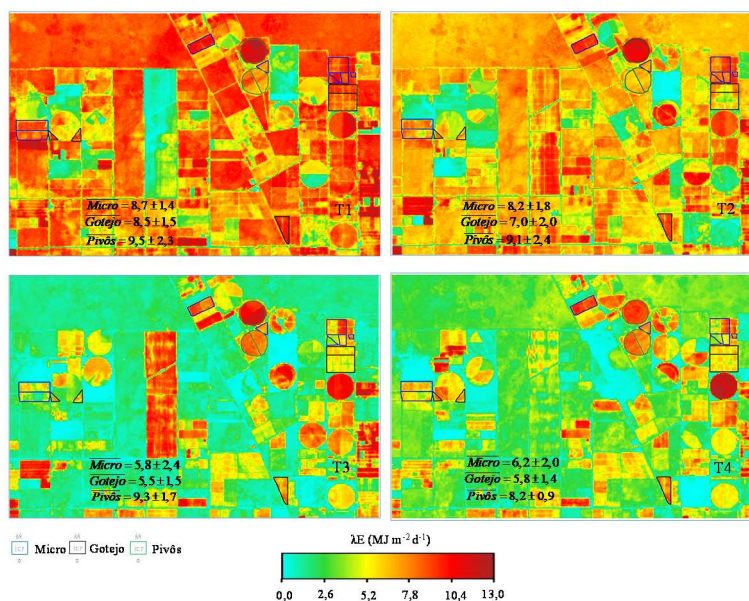


Figura 4 – Distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor latente (λE). Destaques para a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs. T1 – primeiro trimestre; T2 – segundo trimestre; T3 – terceiro trimestre; T4 – quarto trimestre.

Diferentemente de R_n , as variações espaciais nos valores de λE são claras (Figura 4), com os valores mais elevados para pivôs de irrigação, principalmente no terceiro trimestre (T3), período climaticamente mais seco da região de estudo, quando ocorrem valores de λE acima de R_n nas parcelas de culturas bem irrigadas, contrastando com as áreas vizinhas ocupadas pelas espécies da Caatinga (ver Figuras 2 e 4).

Os valores mais elevados de λE foram para os sistemas de irrigação por pivôs, devido ao efeito conjunto das chuvas e aplicações suplementares de água pelo sistema sob elevada demanda atmosférica. Entretanto, os níveis uniformes e de elevada umidade na zona das raízes das espécies da Caatinga no período chuvoso fazem com que as plantas deste ecossistema natural apresentem taxas similares e até mesmo, em algumas situações do primeiro trimestre (T1) maiores do que as culturas agrícolas.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor sensível (H) no ano de 2015, na região semiárida do Norte do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Destaques são dados para as áreas com a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs.

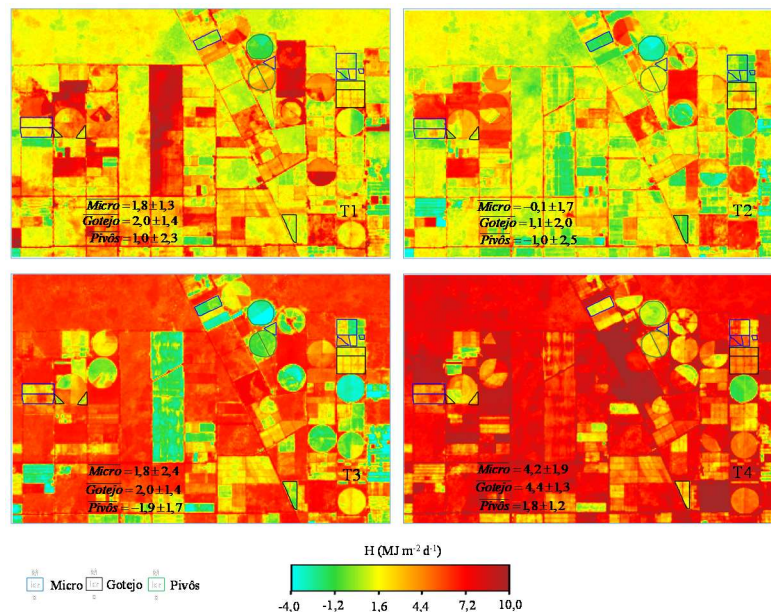


Figura 5 – Distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor sensível (H). Destaques para a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs. T1 – primeiro trimestre; T2 – segundo trimestre; T3 – terceiro trimestre; T4 – quarto trimestre.

Pelas variações espaciais de H, também pode-se diferenciar as áreas irrigadas pelos menores valores, com alguns pixels negativos, principalmente nos sistemas por pivôs, significando advecção horizontal de calor da vegetação natural mais quente e seca. Por outro lado, os valores maiores de H são para o sistema de irrigação por gotejamento no quarto trimestre (T4) do ano.

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor no solo (G) no ano de 2015, no Norte do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Destaques são dados para as áreas com a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs (P).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

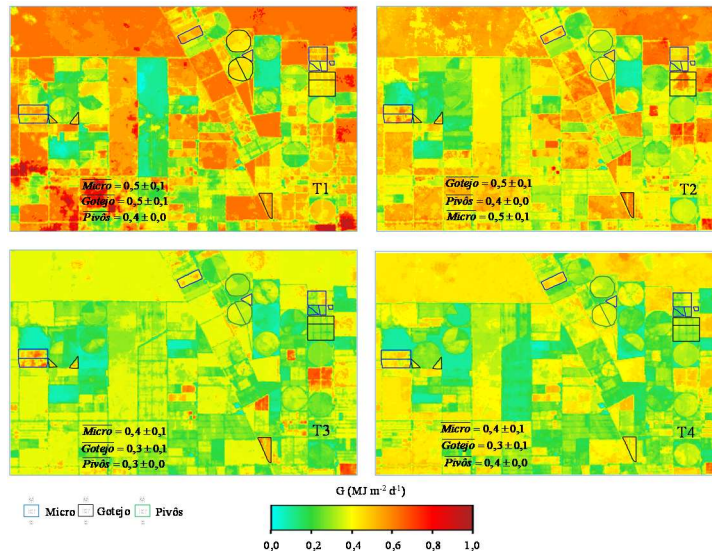


Figura 6 – Distribuição espacial dos valores médios trimestrais do fluxo de calor no solo (G). Destaques para a cultura do limoeiro sob irrigação por microaspersão (Micro), gotejamento (Gotejo) e pivôs. T1– primeiro trimestre; T2 – segundo trimestre; T3 – terceiro trimestre; T4 – quarto trimestre.

A partição de R_n em G foi a de menor proporção na Figura 6, e em particular para a cultura do limoeiro independentemente do sistema de irrigação adotado, comprovando-se que este componente do balanço de energia pode ser desprezado na escala diária (TEIXEIRA et al., 2008, 2017).

Com relação às variações espaciais dos componentes do balanço de energia, os maiores valores de desvio padrão foram para λE e H no sistema de irrigação por microaspersão e por pivôs, envolvendo as fases de crescimento à colheita dos frutos (ver Tabela 1 e Figuras 3 a 6). Para todo o ano de 2015, em média, as razões $\lambda E/R_n$ e H/R_n para os sistemas de irrigação por microaspersão, gotejamento e pivôs, foram respectivamente de 0,75 e 0,21; 0,70 e 0,25; 0,94 e 0,02. O conhecimento destas frações é relevante para a agricultura, principalmente quando se considera os efeitos conjuntos de mudança climática e de uso da terra nas condições de irrigação nas regiões semiáridas.

A Figura 7 mostra a tendência dos valores médios quinzenais da fração evaporativa (E_f) para o limoeiro irrigado por microaspersão (micro), gotejamento (gotejo) e pivôs centrais (pivôs) ao longo do ano de 2015 na região semiárida do Norte do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

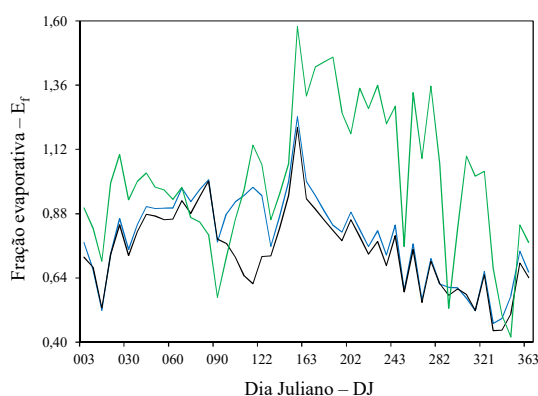


Figura 7 – Tendência e valores médios quinzenais da fração evaporativa (E_f) nos limoeiros irrigados por micro aspersão (micro), gotejamento (gotejo) e pivôs centrais (pivôs).

Os valores de E_f para os três sistemas de irrigação variaram ao longo do ano, porém com diferentes magnitudes, sendo acima de 1,00 e 1,30 para irrigação localizada e por pivôs, respectivamente, no período de DJ 154 a 163, na primeira quinzena de junho, envolvendo as fases generalizadas de crescimento à colheita dos frutos. Percebe-se que, com exceção da segunda quinzena de abril (DJ 108-115), quando caíram abaixo de 0,70 no sistema de gotejamento, em geral a cultura teve bom suprimento de água de irrigação. Por outro lado os valores obtidos nos pivôs sugerem desperdício de água, evidenciados pela curva após a primeira quinzena de maio (DJ 131).

4. Considerações finais

O uso conjunto de imagens do satélite Landsat 8 e dados agrometeorológicos possibilitou a quantificação e análises dos componentes do balanço de energia na cultura do limoeiro sob diferentes sistemas de irrigação na região semiárida do estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. A magnitude destes componentes variaram ao longo do ano, porém com



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

diferentes valores, sendo a fração evaporativa (Ef) acima de 1,00 e 1,30 para irrigação localizada e por pivôs, respectivamente, nas fases generalizadas de crescimento dos frutos à colheita. O conhecimento dos valores desta fração é relevante, considerando os efeitos de mudança climática e de uso da terra.

Referências Bibliográficas

LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; OLIVEIRA, A.P. de; SILVA NETO, L.F. da; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; CALDERANO, S.B.; SIMÃO, M.L.R.; ÁGLIO, M.L.D.; VIEIRA, E.M.; MACHADO, M.L.; SANTOS, A.J.R. dos; SILVA, D.C. da; SOUZA, J.S. de; FERREIRA, A.R. (2014). Levantamento semi detalhado dos solos do Projeto Jaíba (Etapa III), Estado de Minas Gerais. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2014, 148 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento No. 248 /Embrapa Solos, ISSN 1678-0892).

PEDROSO, F.K.J.V.; PRUDENTE, D.A.; BUENO, A.C.R.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**, v. 101, p. 26-35, 2014.

TEIXEIRA, A.H. de C., BASTIAANSSEN, W.G.M., AHMAD, M-ud-D, BOS, M.G.; MOURA, M. S.B. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, p. 110-127, 2008.

TEIXEIRA, A.H. de C.; LEIVAS, J.F.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.11, p. 016030, 2017.