

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO CAFEIEIRO IRRIGADO A PARTIR DE IMAGENS DE SENSORES ORBITAIS

Thalles Loiola Dias¹, Alex Porto Rodrigues¹, Miller Raik Arcanjo Batista¹, Marcelo Rossi
Vicente², Ronaldo Medeiros dos Santos²

RESUMO: O uso de sensoriamento remoto na agricultura é uma realidade. Dentre os diversos usos, destaca-se a determinação da evapotranspiração dos cultivos para o auxílio do processo de gerenciamento da irrigação. O presente trabalho objetivou determinar a evapotranspiração e o coeficiente da cultura do cafeeiro através do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) na região Oeste da Bahia. Para a realização do estudo foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 7. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método Penman-Monteith FAO e, posteriormente, calculou-se o coeficiente da cultura (K_c) com base na evapotranspiração obtida via SEBAL. Os índices estatísticos para avaliar a eficácia do modelo SEBAL foram: o desvio da raiz quadrada média (RMSE); o erro médio absoluto (MAE); o coeficiente de determinação (R^2); e o erro relativo (RE). O modelo SEBAL mostrou-se eficiente na determinação da evapotranspiração da cultura do cafeeiro e no coeficiente de cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Vegetação; Sebal; Manejo de Irrigação.

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT OF COFFEE PLANTS FROM ORBITAL SENSORS IMAGES

ABSTRACT: The use of remote sensing in agriculture is a reality. Among the various uses, the determination of crop evapotranspiration to aid the irrigation management process is detached. The present work aimed to determine the evapotranspiration and the crop coefficient of coffee through the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) in western Bahia. LANDSAT 7 satellite images were used to perform the study. The reference

¹Graduandos em Engenharia Florestal, IFNMG – Campus Salinas, Salinas, MG.

²Professores, IFNMG – Campus Salinas, Fazenda Varginha Km 02 Rod. Salinas/Taiobeiras - Salinas/MG - CEP:39560-000, Salinas, MG.
Fone: (38) 3841-7000. E-mail: marcelo.vicente@ifnmg.edu.br

evapotranspiration was estimated by the FAO Penman-Monteith method and subsequently the crop coefficient (K_c) was calculated based on the evapotranspiration obtained by SEBAL. The statistical indexes for evaluating the effectiveness of the SEBAL model were the root mean square error (RMSE), the mean absolute error (MAE), the coefficient of determination (R^2) and the relative error (RE). The SEBAL model proved to be efficient in determining coffee crop evapotranspiration and crop coefficient.

KEYWORDS: Vegetation Index; Sebal; Water Management.

INTRODUÇÃO

A transferência da água da superfície para a atmosfera por meio da combinação dos processos de evaporação da água da superfície e transpiração das plantas é conhecida como evapotranspiração (Allen et al., 1998). O método mais utilizado para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) é o Penman-Monteith FAO (Pereira et al., 2015), mas devido à quantidade de dados meteorológicos exigidos, sua aplicação se torna, muitas vezes, inviabilizada pela inexistência ou insuficiência desses dados (SILVA et al., 2011a).

O sensoriamento remoto é uma alternativa viável ao oferecer informações com alto grau de confiabilidade, rapidez e abrangência (CONCEIÇÃO, 2013), além se apresentar como técnica eficaz para a determinação de parâmetro terrestre ligado ao clima (Velooso et al., 2017).

Vários modelos que fazem uso dos produtos de sensoriamento remoto foram desenvolvidos, como por exemplo, o *Surfasse Energy Balance Algorithm for Land* – SEBAL e *Mapping Evapotranspiration at High Resolution* – METRIC. Ambos vêm sendo empregados de maneira ampla em diversos ecossistemas (MKHWANAZI et al., 2015; ALLEN et al., 2007).

O SEBAL estima a evapotranspiração através do método simplificado do balanço de energia superficial, fazendo uso também da refletância detectada remotamente nas porções visível e infravermelha do espectro eletromagnético para estimar os vários componentes da equação do balanço de energia (MKHWANAZI et al., 2015).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou determinar a evapotranspiração e o coeficiente da cultura do cafeeiro, na Região Oeste da Bahia, através do modelo SEBAL.

Tabela 2. Valores de Retenção de Água do Solo (% Umidade em Peso) para Distintos Níveis de Tensão de Água no Solo.

Camadas (cm)	Tensão (kPa)									
	0,1	1	2	5	10	20	33	50	70	1540
0-20	31,52	27,30	24,47	18,28	16,08	14,90	14,41	13,64	12,94	12,09
20-40	29,35	25,47	24,11	17,76	15,40	14,05	13,43	12,70	12,14	11,42
40-60	32,55	27,68	26,56	20,51	17,39	15,44	14,73	13,67	12,99	12,02

Fonte Vicente et al. (2015)

Para a realização do estudo foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 7 e modelo digital de elevação SRTM, da órbita/ponto 220/068, que corresponderam à área de interesse. Essas imagens foram obtidas gratuitamente no Serviço Geológico dos Estados Unidos, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Foram utilizadas 8 imagens nas seguintes datas: 11/04/2008, 29/05/2008, 14/06/2008, 30/06/2008, 16/07/2008, 01/08/2008, 17/08/2008 e 05/11/2008. Todas as imagens utilizadas foram de dias claros (sem cobertura de nuvens sobre a região de estudo), requisito necessário para utilização do algoritmo SEBAL.

O SEBAL estima evapotranspiração da cultura (ET_c) como o resíduo do balanço de energia na superfície (ALLEN et al., 2007).

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

Em que,

LE - o fluxo de calor latente instantâneo ($W m^{-2}$),

R_n - saldo de radiação ($W m^{-2}$),

G - fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$),

H - fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$).

A rotina computacional do algoritmo SEBAL, é descrita na Figura 2, adaptada de Yang et al. (2011).

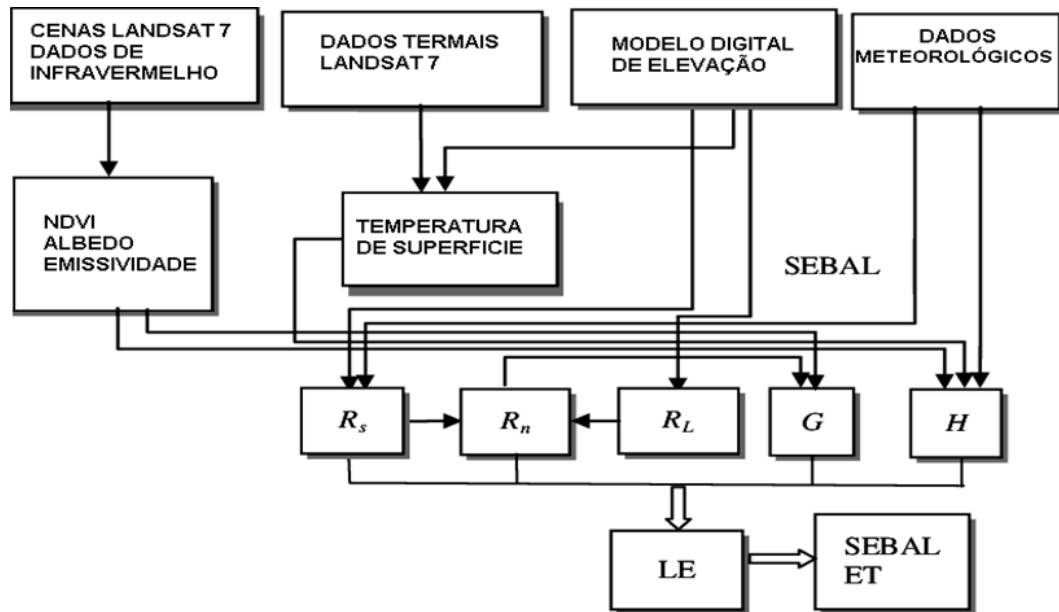


Figura 2. Rotina computacional do Modelo SEBAL; r_s é a radiação de onda curta incidente ($w m^{-2}$); r_n é o saldo de radiação ($w m^{-2}$); r_l é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera ($w m^{-2}$); g é o fluxo de calor no solo ($w m^{-2}$); h representa o fluxo de calor sensível ($w m^{-2}$); le é o fluxo de calor latente ($w m^{-2}$).

Fonte: adaptada de Yang et al. (2011).

A evapotranspiração de referência (ET_0), em escala diária e horária, foi estimada segundo a metodologia proposta por Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998), utilizando dados meteorológicos obtidos na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do Instituto Nacional de Meteorologia instalada em Luís Eduardo Magalhães, BA.

Após a obtenção da ET_0 , calculou-se o coeficiente de cultura (K_c) utilizando a razão ET_c/ET_0 .

Utilizou-se índices estatísticos para avaliar a eficácia do SEBAL na determinação da ET_c em comparação ao modelo proposto por Allen et al. (1998), ou seja, multiplicando a ET_0 pelo valor de K_c para a fase adulta do plantio, igual a 1,10 conforme Allen et al. (1998). Os parâmetros analisados foram a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE), o erro médio absoluto (MAE), o coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo (RE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ET_c ($mm d^{-1}$) estimados pelo algoritmo SEBAL e de K_c estão apresentados na Tabela 3 e representados na Figura 3. O valor médio de K_c obtido foi de 1,20 e de ET_c igual a 7,67 $mm d^{-1}$. O valor de K_c estimado via SEBAL superestimou o valor

proposto por Allen et al. (1998), que é 1,10 para fase fenológica adulta. Os valores que mais se aproximaram foram obtidos nas datas de 16/07/2008 e 05/11/2008, com o Kc de 1,09 e 1,14, respectivamente.

Tabela 3. Evapotranspiração da cultura estimada pelo modelo SEBAL (ET_c) e coeficiente de cultura (Kc).

DATA	ET_c (mm d ⁻¹)	Kc
11/4/2008	8,01	1,21
29/5/2008	7,51	1,23
14/6/2008	7,44	1,24
30/6/2008	6,74	1,23
16/7/2008	7,38	1,09
1/8/2008	7,75	1,21
17/8/2008	7,68	1,23
5/11/2008	8,81	1,14
Média	7,67	1,20

Os valores encontrados de RMSE, RE, MAE e R^2 , foram respectivamente de 0,682 mm d⁻¹; 0,10; 0,634 mm d⁻¹; e 0,80. Esses valores demonstram a eficiência do modelo, uma vez que o desempenho de um modelo é considerado bom quando $RE \leq 0,20$ (Stockleet al., 2004) e $R^2 > 0,80$ (Cai et al., 2007). Assim como no cafeeiro, o modelo SEBAL também foi eficiente para a determinação do coeficiente de cultura da soja (Monteiro et al. 2014) e do algodoeiro (Bezerra et al., 2012)

Na Figura 3 observam-se os mapas da evapotranspiração para as oito datas analisadas. Os valores estimados de ET_c , para as oito datas/imagens analisadas variaram de 2 a 9 mm d⁻¹, com valores médios variando de 6,74 a 8,81 mm d⁻¹.

Sun et al. (2011), utilizando o SEBAL e imagens do Landsat 7, obtiveram valores variando de 0 a 8 mm d⁻¹, com valor médio de aproximadamente de 4,87 mm d⁻¹. Silva et al. (2018) encontraram valores diários estimados de evapotranspiração, utilizando o SEBAL em cinco imagens do LANDSAT 8, variando de 0 a 10,86 mm d⁻¹, com valores médios variando de 3,23 a 5,02 mm d⁻¹.

A evapotranspiração é determinada pelos parâmetros meteorológicos, características e manejo da cultura, e aspectos ambientais (Allen et al. 1998). Estes parâmetros podem explicar a variabilidade dos valores médios de evapotranspiração nas oito imagens/data analisadas.

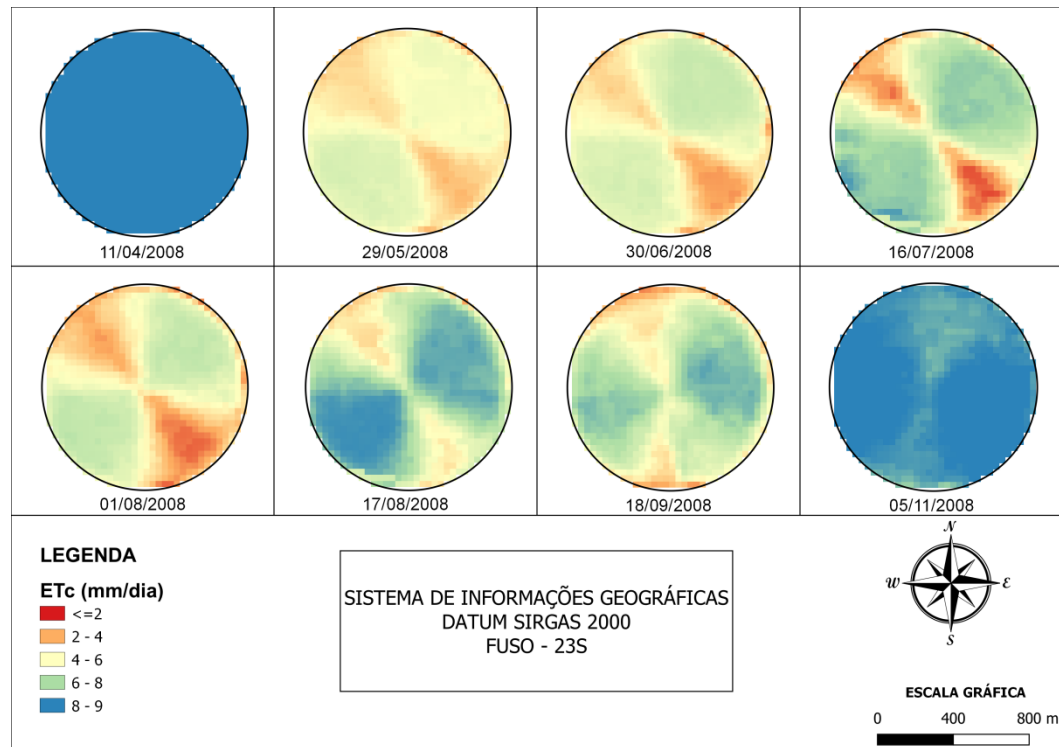


Figura 3. Evapotranspiração da cultura (ET_c), em mm d⁻¹, obtidos através do algoritmo SEBAL.

CONCLUSÕES

O modelo SEBAL mostrou-se eficiente na determinação da evapotranspiração da cultura do cafeeiro e no respectivo coeficiente da cultura. Há que se elaborar softwares com o intuito de facilitar a obtenção de tais dados via sistema de informações geográficas, disponibilizando-os a pequenos produtores, à fim e auxiliá-los na tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 04, p. 380-394, 2007.

BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, Mar. 2000.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212, p. 198-212, 1998.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G., BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 64-71, 2012.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, p. 22–35, 2007.

CONCEIÇÃO, M., A.. Ajuste do modelo de hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 7. p. 306-316, 2013.

MKHWANAZI, M.; CHÁVEZ, J.L.; ANDALES, A.A. SEBAL-A: A Remote Sensing ET Algorithm that Accounts for Advection with Limited Data. Part I: Development and Validation. **Remote Sensing**, v. 7, p. 15046-15067, 2015.

MONTEIRO, P. F. C.; FONTANA, D. C.; SANTOS, T. V. dos, e ROBERTI, D. R. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração para áreas de cultivo de soja no sul do Brasil utilizando imagens do sensor TM Landsat 5. **Bragantia**. v. 73, n. 1, p. 72-80, 2014.

PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, 2015.

ROSSATO, L., ALVALA, R. C. S., FERREIRA, N. J., AND TOMASELLA, J.: Evapotranspiration estimation in the Brazil using NDVI data. Proc. **SPIE**, 5976, 377–385, 2005.

SILVA, V. J. da; CARVALHO, H. de P.; DA SILVA, C. R.; CAMARGO, R. de; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG. **BioscienceJournal**, v. 27, n.1, p.95-101, 2011a.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **RevistaCaatinga**, v. 24, n. 3, p. 145-152, 2011b.

STOCKLE, C.O.; KJELGAARD, J.; BELLOCCHI, G. Evaluation of estimated weather data for calculating Penman–Monteith reference evapotranspiration. *Irrigation Science*, v. 23, p.39–46, 2004.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 2003. 378 f. Tesis (PhD in Biological and Agricultural Engineering) - Universidade de Idaho, Idaho, 2003.

VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. E.; SILVA, B. B. Determinação da evapotranspiração real diária em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais, Brasil), mediante imagens Landsat 5 – TM. **Revista Cerrados**, v.15, n. 1, p.53-76, 2017.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. M.; FERNANDES, A. L. T.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**.v.20. n.3, p-528-543, 2015.

YANG, X.; SMITH, P. L.; YU, T.; GAO, H. Estimating evapotranspiration from terrestrial groundwater-dependent ecosystems using landsat images. **International Journal of Digital Earth**, v.4, n.2, p.154-170, 2011.

SUN, Z.; WEI, B.; SU, W.; SHEN, W.; WANG, C.; YOU, D.; LIU, Z. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n. 3/4, p. 1086-1092, 2011.

SILVA, B. B.; MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; WRUBLACK, S. C.; OLDONI, L. V. Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 221-227, 2018.