

# MODELAGEM ESPACIAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO CAFEIEIRO UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL

Jéfferson de Oliveira Costa<sup>1</sup>, Rubens Duarte Coelho<sup>2</sup>, Wagner Wolff<sup>3</sup>, Jefferson Vieira José<sup>4</sup>, Eusímio Felisbino Fraga Júnior<sup>5</sup>, Silvio Frosini de Barros Ferraz<sup>6</sup>

**RESUMO:** O café é uma das principais culturas irrigadas do Brasil e, por esse motivo, o uso racional da água nesta atividade é de extrema importância, diante do contexto atual de escassez desse recurso. A evapotranspiração (ET) e o coeficiente de cultura (Kc) podem ser obtidas por métodos tradicionais e também por métodos baseados em medidas radiométricas. O trabalho teve como objetivo determinar a variabilidade do Kc em função de variáveis topográficas, utilizando o algoritmo SEBAL aplicado às imagens do satélite Landsat 8. O estudo foi realizado no noroeste do Estado de Minas Gerais, em áreas com a espécie *Coffea arabica* irrigada por pivô central. Foram utilizadas imagens dos sensores OLI e TIRS e a estimativa da ET foi feita com base no algoritmo SEBAL. O método de estimativa de ETr e Kc especializados possibilitou o conhecimento da variabilidade do Kc em função de variáveis topográficas, utilizando o algoritmo SEBAL aplicado às imagens do satélite Landsat 8, no entanto, não houve diferença estatística do Kc entre as diferentes classes das variáveis topográficas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Coffea arabica*, Landsat 8, variáveis topográficas

## INTRODUÇÃO

A estimativa da evapotranspiração (ET) é de grande importância para a elaboração de projetos, para o bom manejo da irrigação, para gerenciamento de reservatórios e para o planejamento de uso dos recursos hídricos (BOSQUILIA, 2016)

A determinação da evapotranspiração real (ETr) utilizando imagens de satélite dispensa a necessidade de dados hidrológicos difíceis de serem obtidos, possibilita o manejo de grandes áreas e, além disso, calcula a evapotranspiração em larga escala, na base de pixel-a-pixels em um conjunto consistente de equações que utilizam radiações espectrais únicas para cada pixel (TEIXEIRA et al., 2009).

O SEBAL - *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (BASTIAANSEN et al., 1998a, 1998b) calcula a ET por intermédio de uma série de cálculos que geram: radiação de superfície líquida, fluxo de calor do solo e fluxo de calor sensível ao ar. Subtraindo-se o fluxo de calor do solo e o fluxo de calor sensível da radiação líquida na superfície, resta o fluxo de energia "residual" que é usado para a evapotranspiração, isto é, a energia que é usada para converter a água em vapor (WATERS et al., 2002).

---

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, E-mail: costajo@usp.br

<sup>2</sup>Professor Titular – Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP, E-mail: rdcoelho@usp.br

<sup>3</sup>Pós doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, E-mail: wwolff@usp.br

<sup>4</sup>Professor Visitante – Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Rondonópolis, E-mail: jfvieira@usp.br

<sup>5</sup>Professor Adjunto – Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, E-mail: eusimiofraga@ufu.br

<sup>6</sup>Professor Associado – Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP, E-mail: silvio.ferraz@usp.br

O algoritmo de estimativa de ET especializada permite também a obtenção da variabilidade espacial de coeficientes de culturas ( $K_c$ ), quando se tem a possibilidade de calcular a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ).

Objetivou-se neste trabalho determinar a variabilidade do  $K_c$  em função de variáveis topográficas, utilizando o algoritmo SEBAL aplicado às imagens do satélite Landsat 8.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado a partir de imagens dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) do satélite Landsat 8 na região do noroeste do Estado de Minas Gerais (MG), Brasil. As áreas consideradas foram aquelas com a espécie *Coffea arábica*. A expectativa de produtividade para a área de estudo era de 50 sacas/hectare, em média.

O clima da região, na classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, isto é, tropical com estação seca de inverno. A temperatura média anual é de 24,2 °C e a pluviosidade média anual é de 1815 mm. O relevo é plano e os solos predominantes da região são Latossolos Vermelhos – Amarelos.

Também foi utilizada uma imagem do satélite ASTER GEDEM V2 (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), referente ao modelo digital do terreno (MDT). Os procedimentos de pré-processamento das imagens foram realizados nos sistemas de informação geográfica (SIG), Gdal 2.0 (GDAL, 2016) e QGIS 2.8.3 (QGIS Development Team, 2015), esse último mediante o *plugin* GRASS 7.0 (GRASS Development Team, 2016), que permite a interação entre estes dois SIGs.

A estimativa da evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ ) foi feita através do algoritmo SEBAL – *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (BASTIAANSEN et al., 1998a). Esse algoritmo é baseado fisicamente no esquema de transferência da camada única para o calor sensível ( $H$ ) e em uma estimativa empírica para o fluxo de calor no solo ( $G$ ). O saldo de radiação ( $R_n$ ) é calculado pela refletância e emitância da radiação, variável espacialmente. O fechamento do balanço de energia, pixel a pixel, é processado ao considerar o fluxo de calor latente ( $LE$ ) como um resíduo da equação do balanço de energia ( $LE = R_n - H - G$ ).

As etapas de cálculos do algoritmo SEBAL foram realizadas utilizando um *script* na linguagem de programação *python* disponibilizado por Wolff (2016) no programa GRASS GIS 7.0 (GRASS Development Team, 2016).

A evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) para os dias de passagem do satélite foi estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56), conforme metodologia adotada por Allen et al. (2006) por meio do software REF-ET versão 2.01.14.

Os dados meteorológicos utilizados nas estimativas da  $E_{To}$  foram obtidos na estação meteorológica localizada na área de estudo. Os dados da estação utilizados foram de radiação solar (piranômetro CS305-ET), temperatura e umidade do ar (sensor *vaisala* Campbell) e velocidade do vento (anemômetro). Os sensores desta estação estavam instalados a 2 metros de altura e havia um sistema de aquisição de dados ou datalogger (Campbell CR1000).

Após a obtenção da  $E_{To}$ , o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi obtido através da relação entre a evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ).

O  $K_c$  médio foi calculado para cafeeiros adultos (acima de 2,5 anos) utilizando-se valores provenientes das áreas de 13 pivôs centrais que juntos abrangem uma área de 1284 hectares.

Analisou-se os valores de Kc em função de variáveis topográficas (altitude, declividade e faces de exposição) na tentativa de demonstrar a influência destes na variação do coeficiente de cultura.

As classes de altitude foram definidas entre os dois limites encontrados na área de estudo que foram 880 e 968 metros, sendo assim, foram criadas 4 classes de altitude. Já as classes de declividade definidas foram de 0-5%, 5-10%, 10-20% e acima de 20% de declive. Quanto as faces de exposição, os valores de Kc foram analisados nas classes sul, leste, oeste, norte e plano.

As análises estatísticas deste estudo foram realizadas no software Sisvar versão 5.4 (FERREIRA, 2008), utilizando o teste de médias de Tukey a 1% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 podem ser vistos os valores médios do coeficiente de cultura do cafeeiro estimado pelo SEBAL em diferentes classes de altitude, declividade e faces de exposição do terreno

Tabela 1. Valores médios do coeficiente de cultura do cafeeiro estimado pelo SEBAL em diferentes classes de variáveis topográficas: altitude, declividade e faces de exposição do terreno

Classes de altitude (m)	Kc <sup>ns</sup>	Desvio padrão	Classes de declividade (%)	Kc <sup>ns</sup>	Desvio padrão	Faces de exposição	Kc <sup>ns</sup>	Desvio padrão
880-902	1,01	0,372	>20	1,22	0,267	Sul	1,02	0,290
924-946	1,00	0,342	10-20	1,12	0,290	Leste	1,02	0,290
902-924	0,96	0,357	0-5	1,00	0,317	Oeste	1,01	0,310
946-968	0,85	0,202	05-10	1,04	0,310	Norte	0,99	0,320
						Plano	0,98	0,322
CV(%)	19,31		CV(%)	21,33		CV(%)	20,06	
DMS	0,55		DMS	0,61		DMS	0,56	
Erro padrão	0,098		Erro padrão	0,110		Erro padrão	0,100	

CV (%) – coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; <sup>ns</sup> – não significativo a 1 % pelo teste de Tukey

Observa-se que nas diferentes classes de altitude, de declividade de faces de exposição os valores médios do coeficiente de cultura do cafeeiro não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

A explicação para este resultado pode ser a situação topográfica da área de estudo que é muito plana e também a resolução do satélite ASTER GEDEM V2, que é de 30 x 30 metros, e possivelmente não contribui para que fosse encontrada diferenças dos valores médios de Kc em função das classes de altitude, declividade e faces de exposição.

Bosquilia (2016) avaliou diferentes parâmetros espaciais e temporais da evapotranspiração real (ETr) para três coberturas vegetais diferentes (cana-de-açúcar, floresta plantada e mata nativa) utilizando o modelo de duas fontes em ambiente SIG e concluiu que quanto maior a altitude maior a ETr anual, que quanto maior a declividade maior a ETr anual e que a face plana foi a que apresentou a menor ETr. Verificou também que para a mata nativa as faces não apresentaram diferenças, já para a floresta plantada as faces norte e oeste consumiram mais água e para a cana-de-açúcar os maiores valores de ETr ocorreram na face oeste.

## CONCLUSÃO

O método de estimativa de ETr e Kc espacializados possibilitou o conhecimento da variabilidade do Kc em função de variáveis topográficas, utilizando o algoritmo SEBAL aplicado às imagens do satélite Landsat 8, no entanto, não houve diferença estatística do Kc entre as diferentes classes das variáveis topográficas.

Para trabalhos futuros que envolvam a modelagem da evapotranspiração do cafeeiro recomenda-se que os mesmos sejam realizados em áreas que apresentem uma maior variação das classes de altitude e declividade e que utilizem imagens de satélites com uma maior resolução, assim, a variabilidade espacial da ET ficará mais evidente.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop requirements)**. Roma: FAO, 2006. 300 p.(Irrigation and Drainage Paper, 56).

BASTIAANSEN, 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. 212-213, n. 1-4, p. 198–212, 1998a.

BASTIAANSEN, W.G.M., PELGRUM, H., WANG, J., MA, Y., MORENO, J.F., ROERINK, G.J., VANDER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, n. 1-4, p. 213–229, 1998b.

BOSQUILIA, R.W.D. **Modelagem especial da evapotranspiração utilizando Modelo de Duas Fontes em ambiente SIG para florestas e cana-de-açúcar**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36–41, 2008.

GDAL. Geospatial Data Abstraction Library Software, Version 2.0. 2016. Disponível em: <<http://www.gdal.org/>>.

GRASS Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, Version 7.0. 2016. Disponível em: <<http://grass.osgeo.org/>>.

QGIS Development Team. Quantum GIS Software, Version 2.8.3. 2015. Disponível em:<<http://qgis.osgeo.org/>>.

TEIXEIRA, A.H.deC., BASTIAANSEN, W.G.M., AHMAD, M.D., BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3-4, p. 477–490, 2009.

WATERS, R., ALLEN, R., BASTIAANSSEN, W., 2002. SEBAL. Surface Energy Balance Algorithms for Land. **Idaho Implementation. Advanced Training and User's Manual**. Idaho, USA.

WOLFF, W. 2016.SEBAL\_GRASS. Script to calculate daily evapotranspiration for Landsat8 images in GRASS GIS 7.X. <http://doi.org/10.5281/zenodo.167350>.