



## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO REQUERIMENTO HÍDRICO DA CULTURA DO MILHO NO ESTADO DE SÃO PAULO

A. H. de C. TEIXEIRA<sup>1</sup>, F. B. T. HERNANDEZ<sup>2</sup>, R. G. ANDRADE<sup>3</sup>, J.F. LEIVAS<sup>3</sup>, D. de C. VICTORIA<sup>3</sup>, E. L. BOLFE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador Ph.D., grupo de Pesquisas e Inovações Geoespaciais, Embrapa Monitoramento por Satélites - CNPM/Embrapa, CEP13070-115 - Campinas - SP, Brasil, Fone (05519) 32116200, heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Caixa Postal 34 – 15.385-000. Ilha Solteira - SP, Brasil, fbhtang@agr.feis.unesp.br

<sup>3</sup>Pesquisador Dr., grupo de Pesquisas e Inovações Geoespaciais, Embrapa Monitoramento por Satélites - CNPM/Embrapa, CEP13070-115 - Campinas - SP, Brasil, Fone (05519) 32116200, ricardo.andrade@embrapa.br; Janice.leivas@embrapa.br; daniel.victoria@embrapa.br; edson.bolfe@embrapa.br

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** Imagens do satélite Landsat e dados agrometeorológicos foram usadas em conjunto para a obtenção da evapotranspiração atual (ET) e modelagem do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) em pivôs de irrigação com mistura de híbridos de milho em uma fazenda comercial de grãos e silagem. Após análises dos histogramas de distribuição de frequência, os valores médios dos pixels da ET durante estágios da cultura ficaram entre 1,1 e 4,4 mm dia<sup>-1</sup>. Considerando-se ausência de estresse hídrico, relações entre  $K_c$  e os graus-dias acumulados ( $GD_{ac}$ ) foram aplicadas no Estado de São Paulo no período de março a agosto para obtenção dos requerimentos hídricos (RH) com ênfase nas mesorregiões produtoras. Destaques são para Presidente Prudente, com valores de RH médios mais altos de  $404 \pm 13$  mm e  $353 \pm 12$  mm, para respectivamente produção de grãos e silagem. A mesorregião de Itapetininga apresentou os valores correspondentes mais baixos de  $311 \pm 16$  mm e  $257 \pm 14$  mm. Os resultados da presente pesquisa são úteis para o planejamento da melhoria da produtividade da água da cultura do milho de acordo com a finalidade comercial, tanto em condições de irrigação como na dependência de água da chuva.

**PALAVRAS-CHAVE:** evapotranspiração, graus-dias, coeficiente de cultura.

## SPATIAL DISTRIBUTION OF CORN WATER REQUIREMENTS IN THE SÃO PAULO STATE

**ABSTRACT:** Landsat satellite images and agrometeorological data were used together for the actual evapotranspiration (ET) requirements and crop coefficient ( $K_c$ ) modelling in irrigation pivots composed with a mixture of corn hybrids from a commercial farm of grains and silage. After the frequency distribution histograms analyses, the averaged ET pixel values during the crop stages were between 1.1 and 4.4 mm day<sup>-1</sup>. Considering absence of water stress, relationships between  $K_c$  and the accumulated degree days ( $DD_{ac}$ ) were applied in the São Paulo state to obtain the large scale water requirements (WR) for the period from March to August, emphasising the production mesoregions. Highlights are for Presidente Prudente,





with the highest averaged WR values of  $404 \pm 13$  mm e  $353 \pm 12$  mm for respectively grain and silage production. The lowest corresponding ones were for Itapetininga mesoregion, with averages of  $311 \pm 16$  mm e  $257 \pm 14$  mm. The results from the current research are useful for planning the corn water productivity improvements according to the commercial purpose, for both, irrigation and rain fed conditions.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, degree-days, crop coefficient.

## INTRODUÇÃO

Na região Sudeste do Brasil, uma das principais culturas é o milho (*Zea mays* L.), a qual vem sendo realizada em duas épocas do ano. Os plantios de primeira safra são entre os meses de outubro e novembro, no início das chuvas, enquanto que os de segunda safra (safrinha) ocorrem em fevereiro ou março, podendo a produção ser destinada tanto para o consumo humano como para alimentação de animais.

O teor de umidade no solo é importante para manutenção da produtividade em níveis ótimos, com o déficit de água destacando-se como o principal fator de risco para o milho safrinha, que é atenuado nas áreas de maior altitude. O estresse hídrico pode afetar o crescimento, desenvolvimento, e os processos fisiológicos, os quais reduzem a produção, sendo esta uma função linear da evapotranspiração atual (ET) (KO e PICCINI, 2009).

Para obtenção das variáveis hídricas em larga escala, ferramentas como sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) podem ser usadas (TEIXEIRA, 2010).

Tendo em vista que a cultura do milho e as mesorregiões produtoras da região sudeste do Brasil estão dentro do contexto das áreas prioritárias do Ministério da Agricultura para o desenvolvimento de aplicações geoespaciais que apoiam a análise de risco agrícola com base em índices agrometeorológicos, o objetivo da pesquisa corrente foi combinar geotecnologias para a modelagem do requerimento hídrico do milho em larga escala, com as finalidades para grãos e silagem nas mesorregiões produtoras do Estado de São Paulo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta as localizações do Estado de São Paulo-SP no Sudeste do Brasil, das mesorregiões produtoras de milho, das estações agrometeorológicas utilizadas e dos pivôs de irrigação onde imagens Landsat foram utilizadas na modelagem.



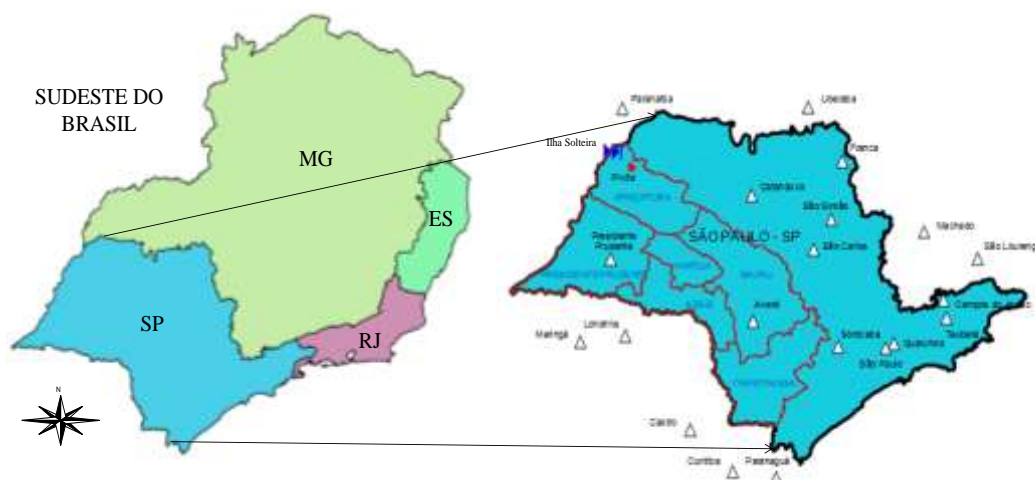


Figura 1 – Localização das mesorregiões produtoras e dos pivôs de milho no Estado de São Paulo, juntamente com as estações agrometeorológicas utilizadas na região Sudeste do Brasil.

Os dados climáticos de 2010 da estação agrometeorológica automática localizada em Ilha Solteira-SP foram usados para a obtenção da ET com aplicação do modelo SAFER (TEIXEIRA, 2010) nas imagens Landsat dos dias 22/03, 07/04, 23/04, 10/06, 26/06, 12/07, e 29/08 deste ano em conjunto com interpolações para cobertura uniforme de todo o período do ciclo produtivo da cultura do milho. Após a elaboração das regressões que relacionam o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) obtidos em pivôs com boas condições hídricas com os graus-dias acumulados ( $GD_{ac}$ ), estas foram aplicadas com dados climáticos interpolados do ano de 2012 provenientes de 20 estações agrometeorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a obtenção da distribuição espacial dos requerimentos hídricos (RH) para grãos e silagem no Estado de São Paulo, com ênfases nas mesorregiões produtoras.

Apenas as bandas do visível e infravermelho próximo do Landsat foram utilizadas para a obtenção da ET nos pivôs centrais, sendo  $T_0$  estimada como resíduo no balanço de radiação. Os valores diários para  $\alpha_0$  foram calculados como:

$$\alpha_0 = a\alpha_p + b \quad (1)$$

onde  $\alpha_p$  é o albedo planetário e a e b são os valores dos coeficientes de regressão (TEIXEIRA, 2010).

$T_0$  foi estimada pelo resíduo no balanço de radiação diário descrito pela seguinte equação:

$$R_n = RS\downarrow - \alpha_0 RS\downarrow - \epsilon_0 \sigma T_0^4 + \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (2)$$

onde a  $RS\downarrow$  e  $T_a$  são os valores diários da radiação solar incidente e temperatura do ar,  $R_n$  é o saldo de radiação diário,  $\epsilon_0$  e  $\epsilon_a$  são as emissividades da superfície e da atmosfera, respectivamente, e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

Os valores de  $\epsilon_0$  e  $\epsilon_a$  foram obtidos como segue:

$$\epsilon_0 = a_0 \ln \text{NDVI} + b_0 \quad (3)$$

$$\epsilon_a = a_a (-\ln \tau_s)^{b_a} \quad (4)$$

onde  $\tau_s$  é a transmissividade para ondas curtas obtida pela razão da  $RS\downarrow$  sobre a radiação solar incidente no topo da atmosfera, e  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $a_a$  e  $b_a$  são os coeficientes de regressão (TEIXEIRA, 2010).

A equação para a obtenção de  $R_n$  no período de 24 horas (Equação de Slob) é descrita como:

$$R_n = (1 - \alpha_0)RS \downarrow - a_1 \tau_w \quad (5)$$

em que o coeficiente de regressão  $a_1$  foi distribuído espacialmente através da sua relação com  $T_a$  (TEIXEIRA, 2010).

Tendo calculado os parâmetros de entrada do modelo SAFER (TEIXEIRA, 2010), a ET foi obtida com dados da  $ET_0$ :

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (6)$$

As médias dos valores dos pixels  $ET/ET_0$  na porção central dos pivôs de irrigação na Fazenda Bonança, forneceram os valores de  $K_c$ , permitindo a geração dos modelos em função de  $GD_{ac}$ , considerando-se a temperatura base de  $10^\circ C$  para a cultura do milho.

$$K_c = aGD_{ac}^2 + bGD_{ac} + c \quad (7)$$

onde os coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  encontrados neste trabalho corrente foram  $-6 * 10^{-7}$ ,  $1,1 * 10^{-3}$  e  $0,46$  para grãos e  $-1 * 10^{-7}$ ,  $1,1 * 10^{-3}$  e  $0,31$  para silagem.

A distribuição espacial de RH foi então obtida para o Estado de São Paulo aplicando-se a equação com os pixels de  $K_c$  e  $ET_0$ :

$$RH = K_c ET_0 \quad (8)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos valores diários da ET para diferentes dias julianos (DJ) durante o ciclo produtivo do milho de março a agosto de 2010, na fazenda Bonança, situada na porção noroeste de São Paulo.

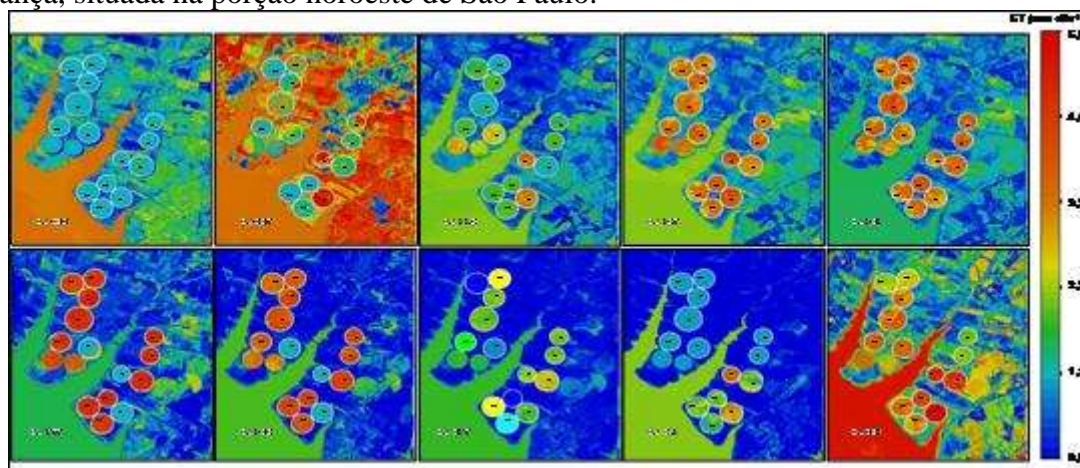


Figura 2 – Evapotranspiração atual (ET) diária em pivôs de irrigação na fazenda comercial Bonança, situada na porção noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. DJ significa dia Juliano e as letras G e S nos pivôs representam produção de grãos e silagem, respectivamente.

Considerando-se os pivôs com diferentes épocas de plantio, para grãos (G), os valores médios dos pixels da ET variaram de  $1,1$  a  $4,4 \text{ mm dia}^{-1}$  durante os estágios nos ciclos produtivos, enquanto que para silagem (S) esta faixa ficou entre  $2,8$  e  $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ . No noroeste da China,

DING et al. (2013) encontraram similarmente taxas diárias em torno de 3,5 mm dia<sup>-1</sup> fornecendo confiabilidade no uso das ferramentas de extrapolação utilizadas no atual trabalho. Por outro lado, Os valores de  $K_c$  obtidos pela Equação 7 estiveram entre 0,3 e 1,2, limites considerados para a melhoria na modelagem da ET do milho no Colorado – USA (DeJONGE et al., 2012), reforçando a viabilidade das regressões.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial de RH da cultura do milho para grãos e silagem no Estado de São Paulo com ênfase nas mesorregiões produtoras.

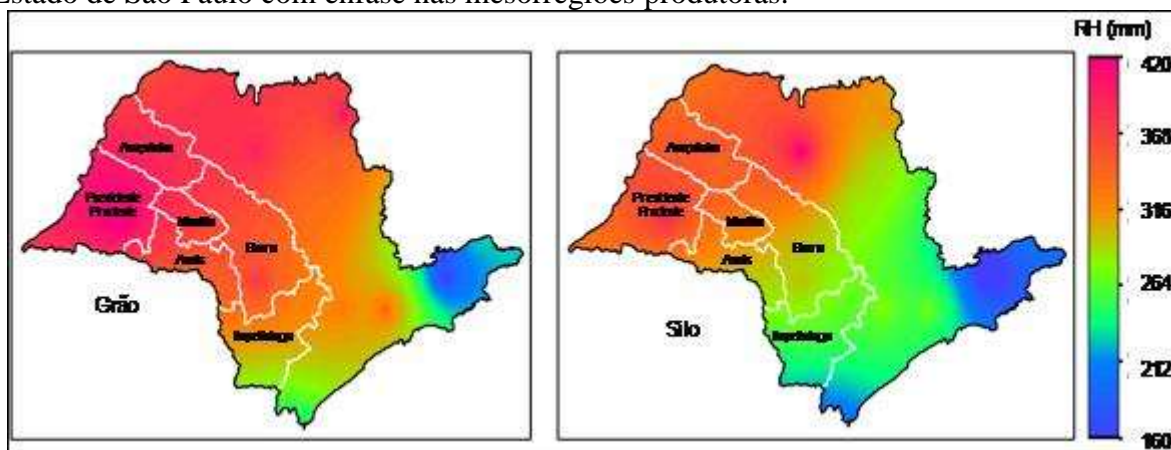


Figura 3 – Distribuição espacial do requerimento hídrico (RH) da cultura do milho para produção de grãos e silo no Estado de São Paulo no período de março a agosto de 2012, com ênfase nas mesorregiões produtoras.

Pela Figura 4, percebem-se valores crescentes de RH para do lado leste para o oeste do Estado, com valores chegando acima de 400 mm por ciclo produtivo, enquanto que no lado mais próximo do litoral constata-se valores inferiores a 200 mm por ciclo produtivo, evidenciando-se grande variação espacial. Para quantificação desta variação, os valores médios dos pixels com os respectivos desvios padrões das mesorregiões produtoras de grãos e silagem são apresentados na Figura 4

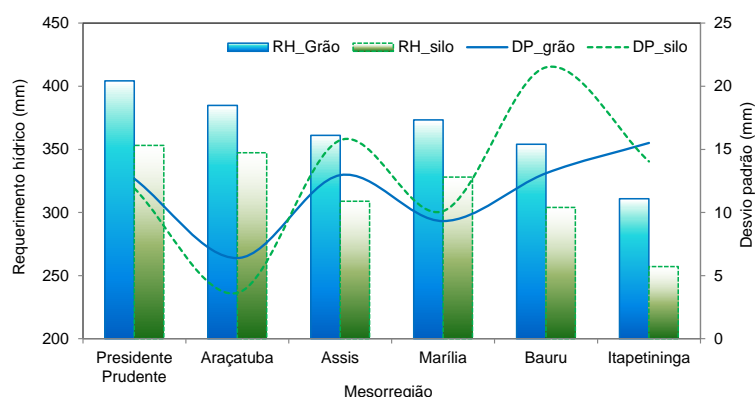


Figura 4. Médias e desvios padrões dor requerimento (RH) da cultura do milho para produção de grãos e silo nas mesorregiões produtoras do Estado de São Paulo no período de março a agosto de 2012.



A mesorregião de Presidente Prudente se destaca com maior demanda hídrica, com valores médios dos pixels de RH para produção de grãos de  $404 \pm 13$  mm, enquanto que os menores são para Itapetininga com média de  $311 \pm 16$  mm, entretanto com o maior desvio padrão (DP). Os valores correspondentes para produção de silagem são de  $353 \pm 12$  mm e  $257 \pm 14$  mm para respectivamente a primeira e a segunda mesorregião. Considerando-se todas as mesorregiões produtoras, os valores de RH para silagem representam em torno de 87% daquele para produção de grãos, porém devido com variação espacial maior, evidenciada pelos valores de desvios padrões 10% superiores.

## CONCLUSÕES

Modelos de regressão resultantes do uso conjunto de imagens de satélites e dados agrometeorológicos, baseados na relação entre a razão da evapotranspiração atual para a de referência e os graus-dias acumulados, permitiram a determinação dos requerimentos hídricos para a cultura do milho no Estado de São Paulo tanto para a produção de grãos como silagem. Diferenças nas demandas hídricas entre as mesorregiões produtoras foram observadas, com as maiores demandas de água sendo para Presidente Prudente e as menores para Itapetininga. Os resultados da modelagem são úteis para a melhoria da produtividade da água de acordo com a finalidade comercial, tanto em condições de irrigação como na dependência de chuva.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq e ao Ministério da Agricultura pelos suportes financeiros.

## REFERÊNCIAS

- DEJONGE, K.C., ASCOUGH II, J.C., ANDALES, A.A., HANSEN, N.C., GARCIA, L.A., ARABI, M. Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 115, p. 92-103, 2012.
- DING, R., KANG, S., LI, F., ZHANG, Y., TONG, L. Evapotranspiration measurement and estimation using modified Priestly-Taylor model in an irrigated maize field with mulching. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 168, p. 140-148, 2013.
- KO, J., PICCINI, G. Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. *Agricultural Water Management*, v. 96, p. 799-808, 2009.
- TEIXEIRA, A. H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. *Remote Sensing*, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

