

ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DE CULTIVO DA SOJA USANDO MODELO DE BALANÇO HÍDRICO E SENSORIAMENTO REMOTO

CASSIO MIGUEL FERRAZZA¹, MIRTA TERESINHA PETRY², MARÍLIA COSSETTIN ANTONELLO³, LEONARDO CHECHI³, ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA⁴, DOUGLAS HENRIQUE HAUBERT⁵

¹ Aluno de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 984493408, e-mail: cassiom.ferrazza@gmail.com.

² Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFSM, Santa Maria- RS. e-mail: mirta.petry@gmail.com

³ Eng.º Agr.º, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da UFSM, Santa Maria, RS. e-mail: marilia_antonello@hotmail.com e leonardochechi@gmail.com.

⁴ Prof. Dr., Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Campi de Cachoeira do Sul, RS. e-mail: zanandrabofoff@gmail.com

⁵ Bacharel em Sistemas de Informação, Mestrando do Programa de Pós-Graduação Ciência da Computação, UFSM, Santa Maria, RS. e-mail: dhaubert@inf.ufsm.br.

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A metodologia do coeficiente de cultivo basal a partir de índices de vegetação ($K_{cb\ VI}$) e de modelo de balanço hídrico foi usada para melhorar a estimativa do requerimento hídrico para a cultura da soja. O objetivo desse trabalho foi estimar o coeficiente de cultura (K_c) da soja usando a combinação do coeficiente de cultivo basal baseado no NDVI ($K_{cb\ VI}$) e do coeficiente de evaporação (K_e) obtido a partir de um modelo de balanço hídrico do solo. Observações de campo foram realizadas em área irrigada e de sequeiro, na safra de 2017/18. O modelo SIMDualKc foi utilizado para simular o balanço hídrico do solo em escala diária e, a partir desse, estimar o K_{cb} , K_e e K_c . O $K_{cb\ VI}$ foi derivado de imagens do satélite Sentinel 2, a partir da fração de cobertura e altura de plantas, observadas a campo. Os resultados demonstraram boa concordância entre o $K_{cb\ VI}$, o $K_c\ VI$ e o K_{cb} e K_c obtidos pelo SIMDualKc, com um coeficiente de regressão (b_0) igual a 1,0 e uma raiz quadrada do erro médio (RMSE) de 0,06, para ambas às áreas, um R^2 variando de 0,93 a 0,92, para a área irrigada e de sequeiro, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: SIMDualKc, $K_{cb\ VI}$, $K_c\ SIMDualKc$.

ESTIMATION OF SOYBEAN CROP COEFFICIENTS USING WATER BALANCE MODEL AND REMOTE SENSING

ABSTRACT: The methodology of the basal crop coefficient derived from vegetation indices ($K_{cb\ VI}$) and water balance model was used to improve for the soybean crop water requirement. The objective of this work was to estimate the soybean crop coefficient (K_c) using the combination of the basal crop coefficient based on NDVI ($K_{cb\ VI}$) and the evaporation coefficient (K_e) obtained from a soil water balance model. Field observations were made in irrigated and rainfed areas, in the 2017/18 growing season. The SIMDualKc model was used to simulate soil water balance on a daily scale and, from this, to estimate K_{cb} , K_e and K_c . $K_{cb\ VI}$ was derived from Sentinel 2 satellite images, from the ground fraction cover

by plants and height of plants, observed in the field. The results showed a good agreement between $K_{cb\ VI}$, $K_c\ VI$ and, K_{cb} and K_c obtained by SIMDualKc, with a regression coefficient (b_0) equal to 1.0 and a root mean square error (RMSE) of 0.06 for both areas, an R^2 ranging from 0.93 to 0.92 for the irrigated and rainfed area, respectively.

KEYWORDS: SIMDualKc, $K_c\ VI$, $K_c\ SIMDualKc$.

INTRODUÇÃO: O requerimento hídrico das culturas normalmente é determinado mediante o uso da aproximação K_c - ET_o (ALLEN et al., 1998), onde um coeficiente de cultivo (K_c) é multiplicado pela evapotranspiração de referência (ET_o) para a obtenção da evapotranspiração da cultura (ET_c). A aproximação dos coeficientes de cultivo duais (K_c dual) separa o K_c em um coeficiente relacionado à planta (K_{cb}) e ao solo (K_e). Em condições de deficiência hídrica, o K_{cb} é ajustado pelo coeficiente de estresse hídrico (K_s). Esta abordagem proposta por Wright (1982) e adotado pela FAO 56 (ALLEN et al., 1998), produz estimativas mais precisas da E_s em relação à abordagem do coeficiente de cultivo simples (K_c simples).

O sensoriamento remoto (SR) tem sido usado como ferramenta para computar a variação espacial e temporal da ET_c , através da relação existente entre os índices de vegetação (VI) derivados do SR e a reflectância da vegetação e os coeficientes da cultura (PÔÇAS et al., 2015). Essa aproximação se baseia na correlação entre as características biofísicas das plantas, como índice de área foliar, altura de plantas e fração de solo coberta pela vegetação e os VI's. Estudos destacam a relação entre o K_{cb} e VI para diferentes tipos de cultivos, focando principalmente na estimativa do K_{cb} , pois está relacionado à transpiração das plantas em condições. Entretanto, diferenças ocorrem quando a planta está em estresse e, por isso, a combinação de um modelo de balanço hídrico que adote a metodologia do K_c dual, para apropriadamente estimar o K_{cb} e o K_e , com os K_{cb} 's derivados do VI, é recomendada. Assim, o objetivo desse trabalho foi estimar o K_c da soja usando a combinação do coeficiente do cultivo basal baseado no NDVI ($K_{cb\ VI}$) e K_e obtido a partir do balanço hídrico do solo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2017/18 em uma propriedade rural, no município de Júlio de Castilhos, região central do Rio Grande do Sul, situado em Latitude 29° 13' 37" S, Longitude 53° 40' 54" W e altitude de 529 metros. O clima da região é do tipo "cfa", subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes, de acordo com a classificação climática de Köppen-Gaigen (KOTTEK et al., 2006). A cultura da soja foi avaliada em uma área de estudo dividida em uma parte de 11 hectares irrigados por pivô central e outra parte de 6 hectares de sequeiro.

Utilizou-se o modelo SIMDualKc, que estima a evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizando a metodologia dos coeficientes de cultivo dual (K_c dual), separando a evaporação da água do solo (E_s) da transpiração da cultura (T_c) para estimar os K_c 's, dividindo-os em K_{cb} e K_e . Para a calibração e validação do modelo, uma série de dados de entrada são necessários: (i) dados meteorológicos: chuva (mm), umidade relativa mínima (RHmin, %), temperatura máxima e mínima do ar (°C), velocidade do vento a 2m de altura (u_2 , m s⁻¹) e evapotranspiração de referência (ET_o , mm), a qual foi estimada pelo método FAO Penman-Monteith.

Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 30 km da propriedade; (i) dados de solo, como o conteúdo de água no solo na capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha (θ_{PMP}), para todas as camadas do solo, para a obtenção do total de água disponível (TAW), além das características de evaporação, como a espessura da camada evaporável (Z_e) e água facilmente evaporável (REW); (ii) as datas e lâminas de irrigação, assim como o métodos de irrigação, para a estimativa da fração de solo molhada pela irrigação (f_w); (iv) parâmetros da cultura,

como o índice de área foliar (IAF), altura de plantas, fração de cobertura (fc), indicando dos principais estádios de desenvolvimento e profundidade efetiva da raiz (Z_r); (v) escoamento e percolação profunda: o escoamento foi determinado usando a curva número (CN) enquanto a percolação foi estimada usando a função paramétrica de Liu et al. (2006) e; (vi) padrão não observado, como a fração de depleção (p) para não stress ($RAW=TAW.p$) e as aproximações ao K_{cb} para cada estágio.

Os valores iniciais do K_{cb} foram estimados a partir do IAF e altura de plantas, conforme a equação proposta por Allen e Pereira (2009). O $K_{cb\ VI}$ foi estimado a partir da refletância da cultura por meio de SR, com imagens do satélite Sentinel 2 e processadas através do Google Earth Engine. O índice utilizado para analisar as diferenças na vegetação foi o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O processamento das imagens do sensoriamento remoto foi realizado através do cálculo ($NDVI = NIR-RED/NIR+RED$) sobre as imagens nas bandas do vermelho (RED, 665nm, banda B4) e infravermelho próximo (NIR, 842nm, banda B8), para um total de 22 imagens. Os valores de K_{cb} obtidos pelo SIMDualKc foram comparados com os $K_{cb\ VI}$ através de indicadores estatísticos, como o coeficiente de regressão forçado à origem (b_0), o coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores dos coeficientes obtidos pelo SIMDualKc e pelo NDVI mostraram bom ajuste e foram satisfatórios para as condições irrigadas e de sequeiro. A figura 1 mostra as variações dos coeficientes obtidos, juntamente com as chuvas e lâminas aplicadas na área experimental irrigada, na qual o K_c ajustado para essa condição de estudo, indica a não ocorrência de estresse hídrico. As variações dos coeficientes obtidos e das chuvas na área experimental de sequeiro estão representadas na figura 2, onde ocorreu um estresse hídrico, quando a curva do $K_{cb\ adj}$ permanece abaixo da curva do K_{cb} em um determinado momento ao final do ciclo. Os valores do K_e foram elevados durante o início do ciclo da cultura devido à combinação de frequentes chuvas e as lâminas extras aplicadas visando o estabelecimento da cultura, influenciando assim na variabilidade da curva do $K_{c\ act}$.

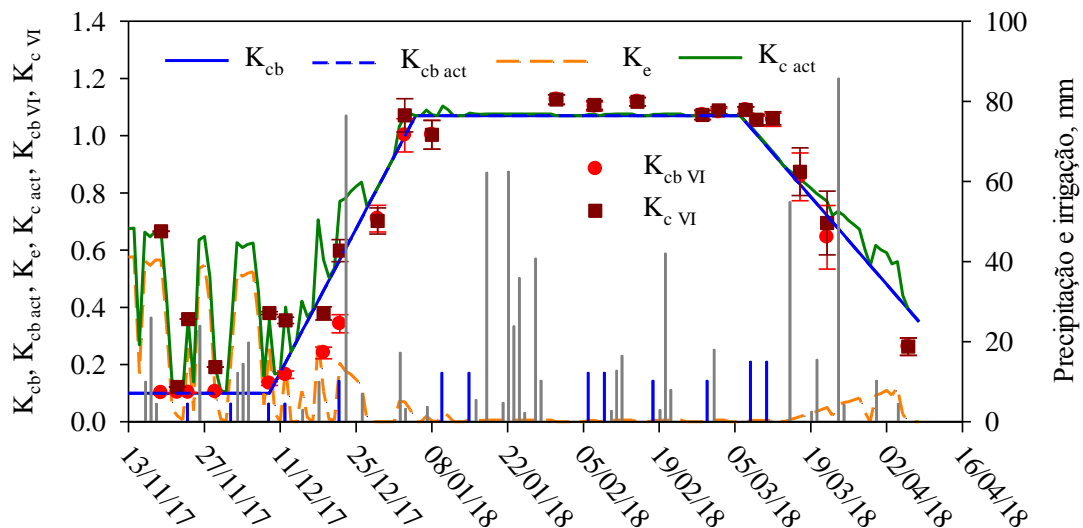


Figura 1 – Variação do coeficiente de cultura basal (K_{cb}), atual ($K_{cb\ act}$), de evaporação (K_e), coeficiente de cultura atual ($K_{c\ act}$) obtido pelo SIMDual, coeficiente de cultura basal do NDVI ($K_{cb\ VI}$), $K_{c\ VI}$, com precipitação pluvial (■ mm) e irrigações (■ mm) ao longo do ciclo da cultura da soja, para a área irrigada – Júlio de Castilhos, RS.

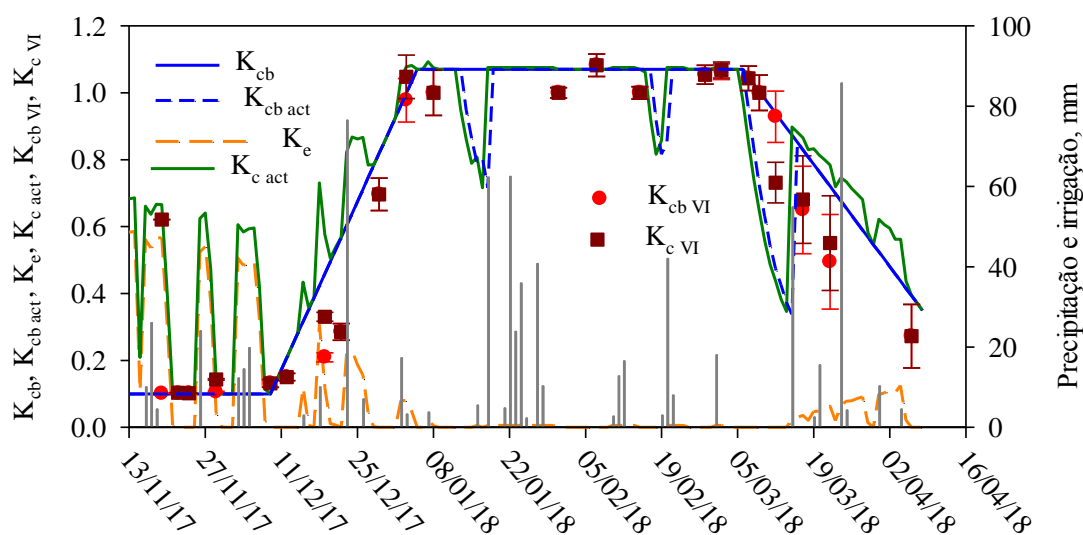


Figura 2 – Variação do coeficiente de cultura basal (K_{cb}), atual ($K_{cb\ act}$), de evaporação (K_e), coeficiente de cultura atual ($K_{c\ act}$) obtido pelo SIMDual, coeficiente de cultura basal do NDVI ($K_{cb\ VI}$), $K_{c\ VI}$, com precipitação pluvial (mm) ao longo do ciclo da cultura da soja, para a área irrigada – Júlio de Castilhos, RS.

A comparação do $K_{cb\ SIMDual}$ e do $K_{c\ SIMDual}$ com o $K_{cb\ VI}$ e o $K_{c\ VI}$ tanto para a área irrigada e de sequeiro resultou em um alto coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,84$) e um coeficiente de regressão (b_0) variando de 0,92 a 0,99. O RMSE se manteve abaixo de 0,16 tanto para a área de sequeiro quanto para a área irrigada, conforme visto na Tabela 1.

TABELA 1: Indicadores estatísticos relativos a comparação entre o $K_{cb\ SIMDual}$ e $K_{c\ SIMDual}$ e $K_{cb\ VI}$ e $K_{c\ VI}$.

Área	n	b_0		R^2		RMSE	
		K_{cb}	K_c	K_{cb}	K_c	K_{cb}	K_c
Irigado	22	0,99	0,99	0,96	0,96	0,086	0,078
Sequeiro	22	0,92	0,95	0,95	0,84	0,112	0,155

n= número de observações

CONCLUSÕES: Os resultados obtidos indicaram que a calibração do modelo SIMDualKc foi eficiente e capaz de simular a dinâmica da água disponível no solo. Os coeficientes de cultura estimados pelo NDVI mostraram uma relação consistente quando comparados aos valores validados pelo SIMDualKc para área irrigada e sequeiro.

REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, **FAO irrigation and drainage paper 5**. Rome, Italy: FAO, 300 p. 1998.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S. **Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height**. Irrigation Science, v.28, p.17–34, 2009.
- KOOL, D. et al. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol.184, p.56– 70, 2014.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated, **Meteorologische Zeitschrift**, v.15, n.3, p.259–263, 2006.
- PÔÇAS, I. et al. **Estimation of actual crop coefficients using remotely sensed vegetation indices and soil water balance modelled data**. Remote Sensing, v.7, n.3, p.2373–2400, 2015.