

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E COMPONENTES DO RENDIMENTO DA CULTURA DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO NO SUL DO BRASIL**LUIZ F. V. SARMENTO¹, LAUDENIR J. BASSO², MIRTA T. PETRY³, REIMAR CARLESSO³, MARIA S.A. BÁEZ²**

¹ Aluno de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 999248978, e-mail: felipesarmentoo@yahoo.com.br.

² Eng.º Agr.º, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM, Santa Maria, RS.

³ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Rural – DER/UFSM, Santa Maria- RS

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Melhorar a gestão da água de irrigação implica em melhorar as estimativas da evapotranspiração das culturas (ET_c), a qual pode ser feita mediante a combinação de observações de campo e modelos de simulação. O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto de diferentes estratégias de irrigação no rendimento de grãos e produtividade da água (WP) da soja no Sul do Brasil. Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2014/15 e 2015/16, no interior de uma cobertura móvel. Quatro estratégias de irrigação foram testadas: T1 (sem déficit), T2 (déficit leve), T3 (déficit moderado) e T4 (déficit severo), em três repetições. As irrigações eram realizadas sempre que a umidade do solo atingia valores de 80, 70, 60 e 50% do total de água disponível (TAW), respectivamente. O conteúdo de água no solo foi monitorado diariamente até a profundidade de 85 cm, utilizando-se um conjunto de sensores FDR. O modelo SIMDualKc foi utilizado para simular o balanço hídrico do solo e a ET_c nos diferentes tratamentos. Em ambos os anos avaliados, observou-se maior rendimento de grãos no tratamento sem déficit. Em 2014/15, a maior WP foi observada no T2, entretanto, em 2015/15, não se observou diferenças na WP entre os tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: manejo da irrigação, balanço hídrico, modelo SIMDualKc.

WATER PRODUCTIVITY AND YIELD COMPONENTS OF SOYBEAN SUBMITTED TO DIFFERENT IRRIGATION STRATEGIES IN THE SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT: Improving irrigation water management implies in improving crop evapotranspiration (ET_c) estimates, which can be done by combining field observations and simulation models. The objective of this work was to evaluate the impact of different irrigation strategies on grain yield and water productivity (WP) of soybean in Southern Brazil. The experiments were conducted in the 2014/15 and 2015/16 growing seasons, within a rainout shelter. Four irrigation strategies were tested: T1 (no deficit), T2 (mild deficit), T3 (moderate deficit) and T4 (severe deficit) in three replicates. Irrigations were performed whenever the soil moisture water content reached values of 80, 70, 60 and 50% of the total available water (TAW), respectively. The soil water content was monitored daily until 85 cm depth, using a set of FDR sensors. The SIMDualKc model was used to simulate the soil water balance components and the ET_c in the different treatments. In both growing seasons evaluated, higher grain yield was observed in the treatment without deficit. In 2014/15, the highest WP was observed in T2, however, in 2015/15, there was no difference in WP between treatments.

KEYWORDS: irrigation management, soil water balance, SIMDualKc model.

INTRODUÇÃO: A soja é a principal cultura de primavera-verão do Brasil, sendo apenas ocasionalmente irrigada de forma complementar para suprir o seu requerimento hídrico. Segundo WEI et al. (2015), a adoção de um adequado calendário de irrigação suplementar às chuvas é crucial para garantir um desenvolvimento e rendimento ótimo da cultura da soja, uma vez que, a distribuição irregular das chuvas é a principal responsável pela variabilidade interanual da produção dessa cultura. A evapotranspiração representa o principal consumo de água na produção agrícola e sua magnitude é

importante para a gestão da água de irrigação. Como a escassez de água está aumentando em muitas áreas, é necessário buscar alternativas para melhorar a gestão da água de irrigação, principalmente para que os agricultores recebam informações confiáveis para tomar melhores decisões de irrigação.

Para culturas comerciais não irrigadas, a evapotranspiração das culturas (ET_c) necessita ser suprida pelas chuvas; em sistemas de produção irrigados esse suprimento é dado pela combinação de chuva e irrigação. Entretanto, o suprimento da ET_c via irrigação pode se tornar caro, devido ao custo energético nos sistemas de irrigação pressurizados. Por isso, o conhecimento da ET_c diária pode ajudar os produtores a decidir quando e quanto irrigar, como forma de reduzir os custos operacionais ligados à irrigação, sem, entretanto, trazer grandes prejuízos ao rendimento de grãos das culturas (PAYEIRO e IRMAK, 2013). A estimativa exata da ET_c não só ajuda na gestão da água de irrigação mas, como os processos da transpiração e o fluxo de CO_2 necessário para a fotossíntese ocorrem nos estômatos das folhas, a ET_c usualmente tem relação positiva com a produção de biomassa e grãos das culturas, os quais são usados para estimar a produção quando a ET_c é conhecida (STEDUTO et al., 2007). A estimativa do rendimento de grão da soja quando submetida a diferentes níveis de stress é importante para a programação de irrigação em tempo real, pois permite comparar diferentes estratégias de manejo de irrigação, além de avaliar o impacto econômico dessas estratégias em diferentes cenários produtivos, incluindo os sistemas de cultivo e/ou o uso diferentes variedades. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto de diferentes estratégias de irrigação no rendimento de grãos e produtividade da água (WP) da soja no Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS: Dois experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2014/15 e 2015/16, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural, na Universidade Federal de Santa Maria. Os experimentos foram conduzidos no interior de uma cobertura móvel, tipo rainout shelter, que impedia a entrada de precipitações pluviais na área experimental. Quatro estratégias de irrigação foram testadas: T1 (sem déficit), T2 (déficit leve), T3 (déficit moderado) e T4 (déficit severo), em três repetições. As irrigações eram realizadas sempre que a umidade do solo atingia valores de 80, 70, 60 e 50% do total de água disponível (TAW), respectivamente, até a profundidade de 85 cm. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, no ano de 2014/15 e microaspersão, em 2015/16.

O conteúdo de água no solo foi monitorado diariamente até a profundidade de 85 cm, utilizando-se um conjunto de sensores FDR. Em cada unidade experimental encontram-se instalados 4 sensores, nas camadas de 0 a 0,10 m; 0,10 a 0,25 m; 0,25 a 0,55 m 0,55 a 0,85 m. A água disponível no perfil do solo (ASW) foi calculada pelo somatório dos valores do conteúdo volumétrico () de água em cada camada, multiplicado pela espessura da camada, em mm, subtraído da lâmina de água armazenada no ponto de murcha permanente, em todo o perfil. A lâmina de água armazenada no ponto de murcha permanente foi calculada a partir da ponderação do conteúdo de água no ponto de murcha permanente (p_{MP}) nas diferentes camadas. A ASW diária foi utilizada como gatilho para determinar o momento de irrigar, em cada tratamento.

O modelo SIMDualKc (ROSA et al., 2012) foi utilizado para simular os componentes do balanço de água no solo e a ET_c em cada tratamento. Para a simulação com o modelo SIMDualKc são necessários dados de solo (capacidade de campo, ponto de murcha permanente, textura e espessura das camadas consideradas), os quais são utilizados para a estimar o total de água disponível (TAW, mm), água prontamente disponível (RAW, mm), valores iniciais de água do total evaporável (TEW, mm), água prontamente evaporável (REW, mm) e espessura da camada de solo com água evaporável (Z_e). Parâmetros da percolação profunda e ascensão capilar também são necessários. Dados meteorológicos diários, como a ET_o (mm), precipitação (mm), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}C$), umidade relativa mínima (%) e velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$), para todo o período do experimento. Dados referentes à cultura, como estádios de desenvolvimento das plantas (inicial, crescimento rápido, intermediário e final), IAF e altura das plantas em cada estádio e profundidade do sistema radicular também são necessários para a calibração e validação do modelo. Do manejo da irrigação são necessárias as lâminas de água aplicadas, as datas de irrigação, além de dados referentes ao sistema de irrigação e fração de solo molhada pelo sistema de irrigação (f_w).

O valor inicial de TAW utilizado foi de 160 mm e a fração de depleção para que não ocorra stress foi de 50% (RAW = 80 mm). O rendimento de grãos das culturas foi determinado, em ambos os anos agrícolas, colhendo-se uma área útil de 4 m^2 em cada unidade experimental. A produtividade da

água (WP) foi calculada pela relação entre a produção da cultura (Y_a , kg) e o total de água usada (TWU, m^3) para essa produção. A produtividade da água irrigada (WP_{IRRIG} , $kg\ m^{-3}$) refere-se à relação da produção atingida pela cultura (Y_a , Kg) utilizando apenas a água de irrigação (IWU, m^3). A produtividade econômica da água ($EWPR_{full\ cost}$, $US\$\ m^{-3}$) foi calculada pela relação entre o valor monetário obtido pelo rendimento da cultura (Y_a , Kg) e o TWU (m^3), incluindo os custos de produção e da irrigação. Os custos de produção foram àqueles praticados em escala regional pelos produtores, associado aos custos elaborados pelo Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (IMEA) para a safra 2016/16 no Centro-Sul do país. A moeda utilizada foi o dólar americano, usando-se a cotação da média do mês de Abril/2017 (1 US\$ = 3.312 BRL). A soja foi cotada em R\$ 58,00 (saca de 60 kg).

Os resultados das variáveis de rendimento de grãos, WP, WP_{IRRIG} e $EWPR_{full\ cost}$ foram submetidos à análise de variância (Teste F, 0,05) e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A relação entre o rendimento de grãos e a ET_c da soja apresentou um comportamento linear positivo, para ambos os anos agrícolas avaliados (Figura 1). No ano agrícola de 2014/15, o decréscimo no rendimento com o aumento nos níveis de déficit (Fig. 1a) foi mais significativo que no ano segundo ano de cultivo (Fig 1b), o que pode estar relacionado com a época de cultivo (no primeiro ano, a soja foi semeada em 30 de Novembro, enquanto no segundo ano a semeadura ocorreu em 11 de Janeiro) e condições meteorológicas, uma vez que, no segundo ano houve uma forte influência do fenômeno El-Niño, praticamente impossibilitando a imposição de déficit hídrico severo na cultura. De acordo com SUYKER e VERMA (2009), a variabilidade interanual na ET_c das culturas é influenciado por vários fatores atmosféricos e biológicos, principalmente a radiação solar líquida (R_n), a qual responde por aproximadamente 75% da ET_c .

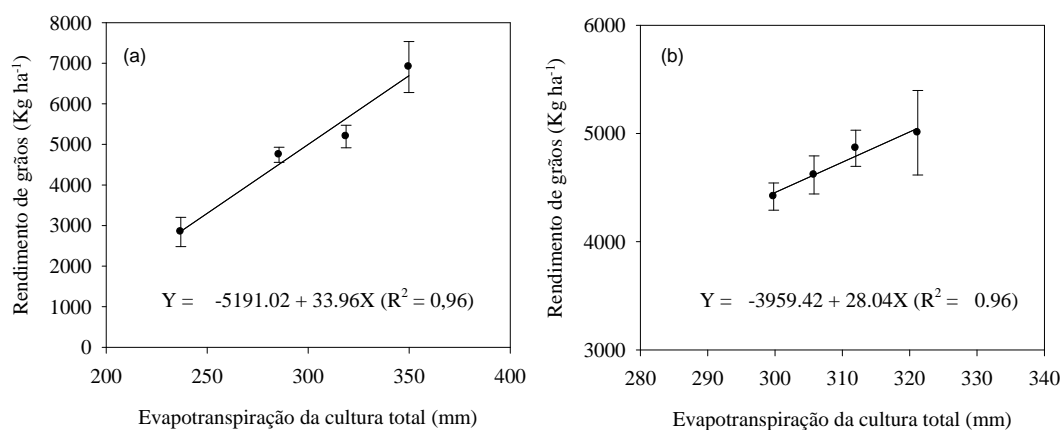


Figura 1. Rendimento de grãos e evapotranspiração da cultura da soja submetida a diferentes níveis de déficit hídrico, nos anos agrícolas de 2014/15 (a) e 2015/16 (b), em Santa Maria, RS. As linhas verticais correspondem ao desvio padrão entre as médias.

O desempenho dos indicadores usados para avaliar as diferentes estratégias de irrigação utilizadas, como a produtividade da água (WP), a produtividade da água irrigada (WP_{IRRIG}) e a produtividade econômica da água, ($EWPR_{full\ cost}$), em função dos custos de produção e custo da lâmina irrigada, para ambos os anos agrícolas avaliados, são apresentados na Tabela 1. A WP e a WP_{IRRIG} apresentaram comportamento similar em razão dos níveis de déficit hídrico imposto, em ambos os anos agrícolas. No ano de 2015/16, à medida que se aumentou a lâmina total irrigada, a WP_{IRRIG} diminuiu (8,66 a 1,83 $kg\ m^{-3}$), embora a resposta ao rendimento tenha sido insignificante. No ano agrícola de 2014/15, não se observou diferença estatística na WP e WP_{IRRIG} entre os tratamentos, observando-se, entretanto, melhor resposta ao rendimento por mm de água aplicada, em relação ao ano agrícola 2015/16. PAREDES et al. (2014) e WEI et al. (2015) também observaram melhor resposta na WP e WP_{IRRIG} na soja cultivada na China, para aqueles tratamentos onde se aplicou déficit hídrico apenas moderado. A menor resposta ao rendimento no segundo ano de cultivo está relacionada à época de cultivo e às condições atmosféricas durante a execução do experimento. O fato da WP e WP_{IRRIG} apresentarem comportamento similar requer cuidado em sua análise, de acordo com RODRIGUES et

al. (2013), pois ao produtor interessa mais o retorno econômico da atividade e não a WP. Por isso, o indicador $EWPR_{full\ cost}$ é mais recomendado para avaliar o manejo de irrigação, porque compara o valor da produção e os custos de produção, em cada unidade irrigada. Os valores do $EWPR_{full\ cost}$ tendem a decrescer, com um valor máximo para áreas bem irrigadas (80% da TAW) e um valor mínimo para o maior déficit (50% da TAW). Valores de $EWPR_{full\ cost}$ menores que 1,0 ($EWPR_{full\ cost} < 1,0$) levam a uma receita negativa, ou seja, perdas no rendimento de grãos devido a imposição de déficit severos não se justificam, sobretudo quando o ingresso de água pelas chuvas é pequeno. Melhores resultados econômicos foram obtidos no ano agrícola 2014/15, onde o menor retorno econômico (0,88) foi observado no tratamento com maior perda de rendimento em função do déficit hídrico.

TABELA 1. Rendimento de grãos, lâminas de irrigação, total de água utilizada, produtividade da água e da água irrigada e produtividade econômica da água para diferentes estratégias de irrigação na cultura da soja, em diferentes anos agrícolas. Santa Maria, RS, 2017.

Tratamentos	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Lâmina Irrigada (mm)	Total de água usada (TWU, mm)	WP (kg m ⁻³)	WP _{IRRIG} (kg m ⁻³)	EWPR _{full cost}
2014/2015						
80%	6907a	236	259	2.67a	2.93a	2.03a
70%	5195b	206	229	2.27a	2.53a	1.54b
60%	4743b	158	181	2.61a	2.99a	1.43b
50%	2842c	107	130	2.19a	2.66a	0.88c
2015/2016						
80%	4985a	183	272	1.83a	2.72a	1.49a
70%	4862a	93	182	2.67b	5.22b	1.50a
60%	4621a	77	166	2.74b	5.90b	1.42a
50%	4410a	50	139	3.12b	8.66c	1.36a

Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula, na vertical, diferem pelo teste de Tuckey (P<0.05).

CONCLUSÕES: os resultados indicam que a WP e WP_{IRRIG} são indicadores que podem ser utilizados quando a prioridade é a economia de água. A $EWPR_{full\ cost}$ respondeu melhor à análise econômica, tanto pelo elevado rendimento de grãos obtido para o tratamento bem irrigado, como pelo retorno econômico ao investimento para altas produtividades. Esse indicador mostra-se alto para avaliar a viabilidade econômica de qualquer estratégia de irrigação, independente do preço das commodities.

REFERÊNCIAS

- PAREDES, P., RODRIGUES, G.C., ALVES, I., PEREIRA, L.S. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agric. Water Manage.* 135, 27–39, 2014.
- PAYERO, J. O. & IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspirations and crop coefficient of soybean. *Agric. Water Manage.* v.129, p.31-43, 2013.
- RODRIGUES, G.C., PAREDES, P., GONÇALVES, J.M., ALVES, I., PEREIRA, L.S. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modeling: ranking for water saving vs farm economic returns. *Agric. Water Manage.* 126, 85–96, 2013.
- ROSA, R.D., PAREDES, P., RODRIGUES, G.C., ALVES, I., FERNANDO, R.M., PEREIRA, L.S., ALLEN, R.G. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 1. Background and computational strategy. *Agric. Water Manage.* v. 103, p. 8–24, 2012.
- STEDUTO, P., HSIAO, T., FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, v.25, p. 189–207, 2007.
- SUYKER, A.E & VERMA, S.B Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, n3. p.443-452, 2009.
- WEI, Z., PAREDES, P., LIU, Y., CHI, W.W., PEREIRA, L.S. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soyben in North China Plain. *Agric. Water Manage.* v.147, p.43-53, 2015.