

# COMPORTAMENTO DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NA REGIÃO DO VALE DO JAGUARI-RS

Performance of Soybean under different waterregimes and feasibility of  
supplementary irrigation

RUVIARO, C.  
DORNELES, J. G. L.  
SILVA, A. M.  
BEN, C. A. V.

Recebimento: 09/08/2011 - Aceite: 11/10/2011

**RESUMO:** A identificação da lâmina de irrigação que resulte no uso racional da água permite melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis para o rendimento de grãos de soja. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2010/11, utilizando a cultura da soja na área experimental da URI Campus Santiago, objetivando avaliar diferentes lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura, que refletem diretamente na produção de grãos e seus componentes. Foi utilizada a cultivar NA 5909 RG, de hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 5,9. A semeadura foi realizada em sistema de plantio direto em sucessão à cobertura de aveia preta. O monitoramento do sistema de irrigação foi através de evapotranspiração de referência, levando-se em consideração a  $E_{To}$  e o  $K_c$ . O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro tratamentos, sendo três níveis de irrigação baseados na evapotranspiração da cultura com acumulados de 20, 40 e 60 mm e outro tratamento testemunha sem irrigação. O tratamento com  $E_{To}$  de 20 mm apresentou rendimento superior aos demais no número de legumes e nós férteis por planta, além de plantas de maior altura. Os resultados do quadrado médio da análise de variância para o peso de mil sementes apresentou um comportamento quadrático com a ampliação das lâminas de água de irrigação de 20 para 60 mm, com a máxima eficiência técnica de 169,13 g para a lâmina de água de irrigação com aplicação de 30 mm e esta capacitou a cultura atingir sua maior produtividade. A produtividade da soja apresentou comportamento quadrático, encontrou-se para a lâmina aplicada de 30 mm,

uma produtividade máxima de 4045 kg ha<sup>-1</sup>, com um lucro líquido no valor de US\$ 318,00 por hectare, entretanto, foi encontrada uma produtividade máxima de 3602 kg ha<sup>-1</sup>, para a estratégia não irrigada.

**Palavras-chave:** Irrigação. Soja. Suplementar.

**ABSTRACT:** The identification of irrigation depth that results in the rational use of water allows a better use of the available natural resources to the revenue of soybeans. The experiment was conducted in the agricultural year 2010/11, using the soybean crop in the experimental area of URI Campus Santiago, aiming to evaluate different irrigation depths based on the crop evapotranspiration, which directly reflects on the grain production and its components. The Cultivar RG IN 5909 was used, with undetermined growth habit and maturation group 5.9. The seeding was accomplished in no-tillage system in succession to black oats cover. The monitoring of the irrigation system was through evapotranspiration reference, considering the ETo and Kc. The experimental design was of randomized blocks with four treatments, that three levels of irrigation were based on the crop evapotranspiration with accumulated 20, 40 and 60 mm and other witness treatment without irrigation. The treatment with 20 mm of ETo showed higher performance than the other vegetables on the number of fertile nodes per plant, besides plants of greater height. The results of the average square analysis of variance to the weight of one thousand seeds showed a quadratic behavior with the expansion of the irrigation water depths from 20 to 60 mm, with maximum technical efficiency of 169.13 g to the irrigation water depth with application of 30 mm and it enabled the crop to reach its higher productivity. The soybean productivity showed a quadratic behavior, it was found to the applied depth of 30 mm, a maximum productivity of 4045 kg ha<sup>-1</sup>, with a net income worth US\$ 318 per hectare, however, a maximum productivity of 3602 kg ha<sup>-1</sup> to the not irrigated strategy was found.

**Keywords:** Irrigation. Soy. Extra.

## Introdução

O uso da biotecnologia associada ao melhoramento vegetal tem proporcionado a descoberta de novos limites de produtividade, uma vez que as plantas estão se tornando resistentes a herbicidas e insetos, como no caso da soja, pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio. (CTNBIO, 2010).

Alguns fatores, independente destes avanços tecnológicos, seguem sendo a causa de

perdas de produtividade na soja. O fator mais preponderante é a deficiência hídrica durante o período de cultivo da mesma, onde a água segundo Sutcliffe (1980, p.2), é a substância necessária em maior quantidade pelas plantas e também sendo assim o constituinte vegetal mais abundante, uma vez que Kudrev (1994 apud VIVAN, 2010, p. 21) afirmaram que:

A água constitui aproximadamente 90% do peso da plantas de soja, atuando em processos fisiológicos e bioquímicos, desempenhando a função de solvente,

através do qual, gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Tendo papel fundamental na regulação térmica, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor. (VIVAN, 2010, p. 21).

Segundo CONAB (2011), a produção de soja, estimada em 74,99 milhões de toneladas, mantém o ritmo de crescimento das últimas safras. Este volume é 9,2% ou 6,30 milhões de toneladas superior à produção obtida na safra 2009/10, quando foram colhidas 68,69 milhões de toneladas. Outra vez os analistas comprovam que o fator climático foi o principal responsável por este resultado, o que anteriormente já tinha sido afirmado por Vivan (2010, p. 28), que o limite superior de produção de uma cultura é determinado pelas condições climáticas e por seu potencial genético, sendo que segundo Cunha et al. (1998) a variabilidade na distribuição de chuvas, principalmente durante o período de primavera-verão, é a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura no sul do Brasil.

Diversas mudanças no comportamento do clima têm ocorrido e em varias partes do mundo a produção agrícola será afetada, e as possíveis alterações do clima ainda tem sido alvo de “suposições” para o futuro, porém o passado já nos fornece informações que levam pesquisadores a afirmar que:

[...] secas mais longas e mais intensas têm sido observadas em áreas cada vez maiores desde a década de 1970, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. Aumento do clima seco devido ao aumento de temperatura e à diminuição da precipitação tem contribuído para as mudanças da seca. Mudanças na temperatura da superfície do mar - SST -, padrões dos ventos e a diminuição da queda de neve e da cobertura de neve também têm contribuído para as secas (ECO LATINA, 2007).

Quando a frequência dessas instabilidades climáticas aumentam sua ocorrência em uma determinada região, busca-se uma forma para amenizar ou solucionar o problema, e isto é o cenário atual da agricultura na região do COREDE do Vale do Jaguari- RS, que tem optado pelo uso de sistemas de irrigação na cultura da soja, sendo que segundo Gomes (2007, p.92), fica comprovado que o uso de irrigação suplementar na cultura da soja aumenta a produtividade de grãos na região fronteira-oeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Mediante este cenário, a agricultura irrigada se potencializa e surge como uma das alternativas em meio às adversidades. Porém o uso racional da água, associado ao conhecimento das interações entre planta-solo-atmosfera, é a causa de insucessos em muitos empreendimentos.

A finalidade deste trabalho foi identificar e quantificar os limites onde se encontra a melhor produtividade para soja irrigada, levando em consideração as variáveis de clima e solo da região do COREDE Vale do Jaguari - RS, além de estudar a sua máxima eficiência econômica, visando ser base para futuras tomadas de decisões e estudos de novos empreendimentos no setor.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2010/11, utilizando a cultura da soja em uma área experimental da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões -URI Campus Santiago, cujas coordenadas geográficas são: Latitude 29°09'50 "S, Longitude 54°51'32" W e Altitude de 439 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é o Cfa. (MORENO 1961). O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa, relevo ondulado e substrato basalto. (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro tratamentos, sendo estes três níveis de irrigação baseados na evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) da cultura com acumulados de 20, 40 e 60 mm e outro tratamento, testemunha, sem irrigação. A cultivar utilizada foi NA 5909 RG, de hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 5,9. A semeadura foi realizada em novembro de 2010, com uma densidade de 30 pl m<sup>2</sup>, em sistema de plantio direto em sucessão à cobertura de aveia preta, com rendimento de 4,5 t de MS ha<sup>-1</sup>.

A adubação do solo foi feita com base nos resultados da análise química do solo processada pelo Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos da UFSM, vinculado às ROLAS, e a recomendação foi obtida da Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004) para a cultura da soja.

As sementes foram tratadas com bactérias FBN, fungicida e inseticida.

Para caracterização física do solo no qual o experimento foi conduzido, foram coletadas amostras aleatórias nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, em cinco repetições, as quais foram analisadas no Laboratório de Física do Solo da URI Campus de Santiago. Em cada um dos cinco pontos de amostragem foram coletadas amostras deformadas para determinação da densidade de partícula, e amostras indeformadas para determinação da densidade do solo. Para a densidade do solo as amostras foram coletadas em anel de 6x3 cm (84,82 cm<sup>3</sup> de volume) e determinadas pelo método do anel volumétrico.

No que se refere aos dados morfológicos obtidos da cultura da soja, foram marcadas 04 plantas em seqüência na linha de cada parcela, fazendo-se avaliações sempre nas mesmas plantas durante os estádios R5 (início do enchimento de grãos) e R8 (maturação), em que foi quantificado o número de legumes em R5, e R8 com a finalidade de ser determinando o

número de legumes com um, dois, três e sem grãos e o peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos. Para se determinar o peso de 100 grãos foi realizada amostra de 50 grãos, oriunda de legumes com um, dois e três grãos, separadamente. A determinação da altura e número de nós nas plantas selecionadas foram realizadas no estádio R5.

Para efeito da aplicação dos manejos da irrigação na soja, foram considerados como períodos críticos ao estresse hídrico, a germinação-emergência e o florescimento-enchimento de grãos. Os estádios de desenvolvimento da soja foram determinados pela escala fenológica. Para assegurar uma germinação homogênea das sementes e emergência das plântulas, todos os tratamentos foram irrigados logo após a semeadura.

O monitoramento da irrigação foi realizado através da ET<sub>m</sub>, obtida da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o K<sub>c</sub> da cultura, e por sensores elétricos no solo, através de régua Echo Probes, medidoras de umidade do solo, calibradas para o solo da área experimental.

As lâminas de irrigação foram aplicadas através de um sistema de irrigação por gotejamento autocompensado, instalado em cada linha das parcelas experimentais, com espaçamento de 0,5 m entre gotejadores, perfazendo quatro gotejadores por m<sup>2</sup> com uma vazão média de 8,8 litros por hora, permitindo, desta forma, a distribuição de uma lâmina de irrigação de maneira gradual e uniforme no solo.

Para determinar a lâmina de irrigação a ser realizada através de um pivô central, levou-se em consideração a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), os valores de CC e PMP foram usados em umidade volumétrica, a disponibilidade real de água (DRA) e a umidade crítica no solo (W\*) no qual o sistema de irrigação está instalado e um fator de disponibilidade de

água para a cultura ( $f$ ). A profundidade de 40 cm foi adotada para a concentração de 80% do sistema radicular da cultura ( $z$ ). A DRA e o  $W^*$  foram obtidos através das equações;

$$DRA = [ ( CC - PMP ) / 10 \cdot f \cdot z ] \quad (1)$$

$$W^* = CC - [ f \cdot ( CC - PMP ) ] \quad (2)$$

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e a umidade do solo por réguas medidoras de umidade Echo Prob, previamente calibradas para o solo da área experimental, instaladas nas profundidades de 15 e 30 cm, em cada tratamento, sendo as leituras realizadas pelo menos a cada dois dias.

O estudo da viabilidade econômica consistiu em determinar, para Santiago - RS, os custos para implantação, produção e irrigação da cultura. Os custos não associados à irrigação para implantação da cultura da soja incluíram as operações mecanizadas (semeadura, aplicação de herbicidas, inseticidas, fungicidas, colheita e transporte), custos com insumos (semente, calcário, adubação de base, herbicidas, inseticidas, fungicidas), mão-de-obra, encargos, juros e outros.

No cálculo dos custos relacionados à irrigação foram utilizados dados técnicos de projetos de irrigação por pivô central. Os custos que compuseram o sistema de irrigação foram o custo do pivô central, conjunto motobomba e adutora. Todos os equipamentos utilizados possuem como fonte de energia para acionamento do conjunto motobomba a energia elétrica.

Os custos avaliados foram o de aplicação da lâmina de irrigação, depreciação do equipamento, aquisição do equipamento e financiamento via FINAME (cinco anos). A vida útil do pivô central foi considerada de 20 anos e a taxa de juros, para o FINAME, de

8% ao ano mais TJLP (Taxa de juros de longo prazo). A depreciação horária foi determinada levando-se em consideração o tempo de utilização do sistema de irrigação. Assim, através das lâminas de irrigação e tempo de aplicação por área irrigada, obteve-se a depreciação do equipamento por hora de uso. (ROSA, 2000).

## Resultados e discussão

No ano agrícola 2010/11 a ocorrência de precipitações pluviométricas em quantidade e frequência satisfatórias durante o ciclo da cultura, levaram ao aumento na produtividade média do Rio Grande do Sul, sendo 10,7% maior, alcançando uma média de 2845 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2010/11 (CONAB, 2011). No entanto, após o florescimento da cultura, a menor frequência de precipitação e maiores valores acumulados da ET<sub>m</sub> da cultura, com valor médio diário de 4,3 mm dia<sup>-1</sup>, tornou necessário o uso da irrigação.

O total de água aplicada pelo sistema irrigante oscilou entre 78 e 177 mm em função dos tratamentos. Em uma análise das safras do período de 93/94 a 06/07, Vivan (2010) verificou que todos os cenários simulados apresentaram necessidade de irrigação suplementar para a cultura da soja, sendo a mínima e máxima lâmina requerida entre aproximadamente 54 e 430 mm.

Assim, a lâmina total de água necessária pela cultura durante seu ciclo deve atender às exigências hídricas das plantas em todos os sub períodos do ciclo de desenvolvimento. Deve-se ressaltar que as necessidades hídricas das plantas variam de um período para outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa à maior evapotranspiração (KUSS, 2006).

Plantas sob deficiência hídrica moderada frequentemente apresentam um aumento na eficiência do uso da água, uma vez que uma



redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO<sub>2</sub>. (CHAVES et al., 2002; KRON et al., 2008).

Durante o ciclo da cultura, os sensores possibilitaram monitorar a umidade volumétrica no solo (Figura 1 e 2), o que permitiu o uso racional da água, uma vez que cada unidade de solo tem suas próprias características físicas, tendo influência direta na umidade volumétrica retida e na tensão de absorção.

A altura de plantas foi uma das características expressas mediante o uso da irrigação da cultura da soja, sendo que o tratamento testemunha atingiu a menor altura de planta quando comparado aos demais (Figura 3). A correlação entre o volume de água suplementada e a altura de plantas foram na ordem de 93%, ou seja, o uso da irrigação está diretamente relacionada à expressão do potencial fenotípico da cultura.

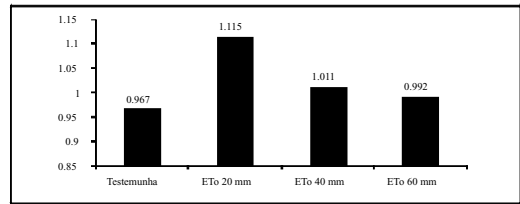


Figura 3 - Altura de plantas de soja, (m), submetidas a quatro regimes hídricos. URI- Campus Santiago, RS. 2010/11.

A altura de planta habitualmente varia em função da população de plantas, porém quando a disponibilidade de água no solo fica restrita nas fases iniciais da cultura, esta expressa uma menor altura. No caso em estudo foram ministrados 60 mm de irrigação suplementar no tratamento com ETo 20 mm somente no período vegetativo, o que levou as demais plantas a promulgar sua sensibilidade ao déficit hídrico.

Levando em consideração o número de nós férteis, Thomas et al. (1998 apud RAMBO, 2003, p. 408) alegaram que o número de ramificações por planta de soja e seu desenvolvimento está correlacionado com a competição intraespecífica por fatores do meio como água, luz e nutrientes. Os resultados encontrados por Petry (2000) e Thomas & Costa (1994) confirmam os dados, da Figura 4, e mostram que a redução da estatura das plantas ocorre com o aumento do estresse hídrico, e isto é devido à diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

Neste contexto, o caráter número de vagens por planta correlacionaria satisfatoriamente com altura de plantas, confirmando a tendência de que as plantas mais altas apresentam um maior número de vagem. (MIRANDA, 1998). De modo similar, a correlação fenotípica positiva entre o peso de 100 sementes e a produção de grãos indica que a seleção de plantas mais produtivas acarretou na seleção de sementes maiores.

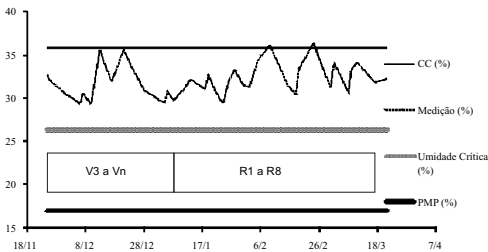


Figura 1 - Comportamento da umidade volumétrica no solo com uso de ETo 20 mm em soja safra 2010/11, nos períodos vegetativo (V) e reprodutivo (R). URI - Campus Santiago, RS.

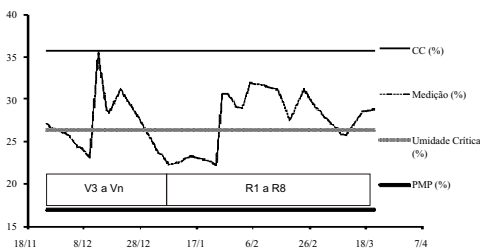
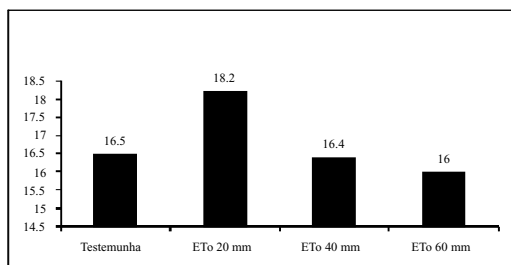


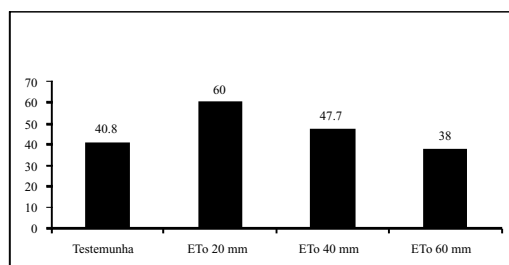
Figura 2 - Comportamento da umidade volumétrica no solo com uso de ETo 60 mm em soja safra 2010/11, nos períodos vegetativo (V) e reprodutivo (R). URI - Campus Santiago, RS.



**Figura 4** - Número de nós férteis em plantas de soja submetidas a quatro regimes hídricos. URI-Campus Santiago, RS. 2010/11.

A falta de água pode afetar ainda a eficiência do processo fotossintético, tanto de forma direta, com a desidratação do citoplasma, como indiretamente, devido ao fechamento estomático (MIYASAKA e MEDINA, 1981), além disto, segundo Berlatto (1981 apud CASAGRANDE, 2001 p. 169) e Fageria (1989 apud CASAGRANDE, 2001 p. 170) se a ocorrência for durante o período de florescimento, causa o aborto das flores e impede a antese, enquanto no enchimento dos grãos, afeta o peso dos grãos e, conseqüentemente, a produção. Todos estes dados estão em conformidade com Mundstock & Thomas (2005), o qual professou que o déficit hídrico em qualquer estágio de desenvolvimento da planta altera a quantidade de massa produzida e, com isso, afeta o balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo, refletindo sobre o número de nós férteis e legumes na planta, diminuindo o rendimento de grãos (Figura 5).

Kuss (2006, p. 49), em experimento com população de plantas, disse que o menor número de legumes na maior população, sem irrigação, deve-se ao aborto de flores e legumes jovens em função da restrição hídrica ocorrida. Isto confirma os dados encontrados, onde a testemunha sem uso da irrigação e o tratamento com Eto 60 mm apresentaram uma redução de 32% e 36,6% no número de legumes por planta.



**Figura 5** - Número de legumes em plantas de soja submetidas a quatro regimes hídricos. URI-Campus Santiago, RS. 2010/11.

Os resultados do quadrado médio da análise de variância para o peso de mil sementes (Tabela 1) apresentaram um comportamento quadrático com a ampliação das lâminas de água de irrigação de 20 para 60 mm.

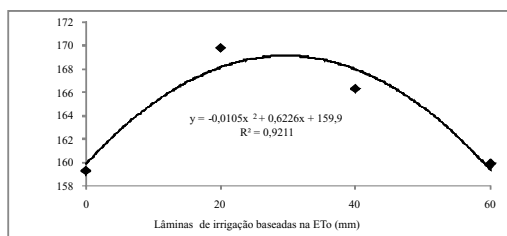
**Tabela 1** - Quadrado médio da análise de variância para peso de mil sementes (PMS) das plantas de soja submetidas a diferentes lâminas de água de irrigação, URI - Campus Santiago, 2010/11, RS.

Causas de Variação	G	Peso de mil sementes
Tratamento	3	102,6506*
Modelo linear	1	25300,9411*
Modelo quadrático	1	283,0806*
Resíduo	9	11,3251
C.V. (%)		2,05

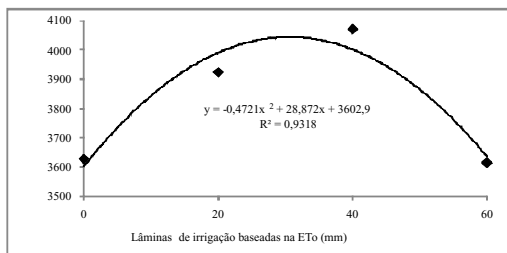
\* significativo em nível de probabilidade de 0,05. C.V. = coeficiente de variação.

Referente à produtividade da soja esta apresentou comportamento quadrático, onde encontrou-se para a lâmina média de água aplicada de 30 mm, com a máxima eficiência técnica (MET) de 169,13 g por mil sementes (Figura 6), e para esta mesma lâmina de água de irrigação uma produtividade máxima de 4045 kg ha<sup>-1</sup>, com um lucro líquido com valor de US\$ 318,00 por hectare; entretanto, foi encontrada uma produtividade máxima de 3602 kg ha<sup>-1</sup>, para a estratégia não irrigada

(Figura 7). Rambo et al. (2002) em trabalho com rendimento de grãos em dois regimes hídricos, para a cultivar de soja BRS 137, em Eldorado do Sul, RS, obtiveram uma produtividade de 5530 kg.ha<sup>-1</sup> e 4898 kg.ha<sup>-1</sup> para tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente.



**Figura 6** - Peso de mil sementes (g) de soja submetidas a diferentes regimes hídricos na safra 2010/11. URI - Campus Santiago, RS.



**Figura 7** - Produtividade de soja (kg ha<sup>-1</sup>) submetida a diferentes regimes hídricos na safra 2010/11. URI - Campus Santiago, RS.

Herzog et al. (2004), em experimento com a cultivar FEPAGRO RS-10, no ano agrícola 2001/02, em Eldorado do Sul obtiveram, sob condição de irrigação em sistema plantio direto, rendimentos médios de 3.334 kg ha<sup>-1</sup> e sem irrigação de 2.996 kg ha<sup>-1</sup>, rendimentos atribuídos à oferta pluvial no período em que a cultura se encontrava em enchimento de grãos (fevereiro e março). Sem limitação hídrica, Moreira et al. (2002), obtiveram rendimentos de 3.207 kg ha<sup>-1</sup> em plantio direto.

A máxima eficiência econômica (MEE), levando em consideração os custos fixos e variáveis, na produção da cultura da soja, resultou em uma produção de 4040 kg ha<sup>-1</sup>.

A proximidade entre a MET (4045 kg ha<sup>-1</sup>) e a MEE (4040 kg ha<sup>-1</sup>) tem influência direta da cotação da soja, que na safra 2010/11, teve uma média de comercialização de US\$ 480,00 t<sup>-1</sup>. Os custos fixos e variáveis com o sistema de irrigação, pivô central, representaram 34,28% em relação ao custo total da cultura da soja irrigada. Custo semelhante foi encontrado na cultura do feijão, obtendo valor de 26,6% referente à irrigação (OLIVEIRA et al., 2010).

Somando os custos de implantação do sistema de pivô central (US\$ 63,86 por ha ano<sup>-1</sup>), custo de remuneração do capital (US\$ 281,98 por ha ano<sup>-1</sup>), depreciação do equipamento (US\$ 56,18 por ha ano<sup>-1</sup>), manutenção do equipamento (US\$ 28,09 por ha ano<sup>-1</sup>) e o custo por hora de trabalho do sistema de irrigação, que consiste na multiplicação do consumo pelo preço do kW e número de horas trabalhadas por ano do sistema irrigante (pivô central), de US\$ 474,42 por hectare ao ano, encontrou-se o custo final da irrigação para a cultura da soja.

Para cobrir os custos da irrigação considerando o preço obtido na venda da safra de US\$ 25,28 por saco de 60 kg de soja seriam necessários 18,8 sacos de soja por hectare por ano. Ao somar-se esses valores ao restante do custo de produção da cultura da soja não irrigada (US\$ 909,01 por hectare) teríamos um custo total de produção por hectare de soja irrigada de US\$ 1383,24, e, para cobrir este custo, necessitaria de uma produtividade mínima de 54,7 sacos de 60 kg por hectare; portanto, a produção encontrada para MEE (4040 kg ha<sup>-1</sup> ou 67,3 sacos de 60 kg), remete ao um lucro líquido de 12,6 sacos por hectare (US\$ 318,53) para a soja irrigada por pivô central, o que demonstra a viabilidade econômica, do sistema de irrigação, uma vez que houve aumento de produção de grãos na cultura da soja. Cabe salientar que, para o ano agrícola 2010/11, foi constatado que o total de água aplicada pelo sistema irrigante



oscilou entre 78 e 177 mm, em função dos tratamentos, demonstrando que durante o ciclo da cultura da soja ocorreu um bom índice de precipitação, efetuando-se a irrigação nos períodos em que ocorreram os déficits hídricos.

A maior restrição para nosso entendimento sobre o uso da água é a dificuldade associada com sua medida e quantificação. A determinação correta da quantidade de água requerida pela cultura em períodos específicos do seu desenvolvimento é difícil, para a maioria dos irrigantes. Na irrigação suplementar, a água necessária ao atendimento da demanda evapotranspirométrica da cultura no intervalo entre duas irrigações consecutivas, é proveniente, em parte, da irrigação e, em parte, da precipitação pluviométrica efetiva. Nesse caso diz-se que a irrigação suplementar a precipitação efetiva no atendimento da demanda de água da cultura.

A irrigação realizada através de um pivô central deve levar em consideração a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), a disponibilidade real de água (DRA) e umidade crítica no solo ( $W^*$ ) no qual o sistema de irrigação está instalado e um fator de disponibilidade de água para a cultura ( $f$ ). O ( $f$ ) para a cultura da soja foi considerado de 0,50 para todo o seu ciclo vegetativo, com 80% do seu sistema radicular, a uma profundidade de 40 cm.

A partir dos dados obtidos do solo, em umidade volumétrica, com valores de 35,7% e 16,90%, para CC e PMP, respectivamente, obteve-se o DRA, com valor de 37,6 mm (equação 1), o qual considerou-se o máximo de água que poderia ser transferida para a atmosfera por evapotranspiração pela cultura da soja, sem causar perdas na produção da cultura. A  $W^*$  encontrada foi de 26,3% (equação 2).

Considerou-se a MEE da irrigação, o valor de 27,7 mm, como a lâmina de irrigação

ótima ( $W$ ), e sendo o limite de evapotranspiração da cultura, ou seja, perda de água no solo para atmosfera através da planta de soja, encontrando-se um novo fator de disponibilidade de água no solo com valor de 0,37. Utilizando este novo fator ( $f^*$ ) na “equação 1” obteve-se o valor de 27,7 mm para DRA.

A irrigação realizada através de um pivô central com uma lâmina de água de 9 mm em 21 horas, poderia ser utilizado para irrigar a cultura da soja, sendo as lâminas de água aplicadas em 3 dias distintos, antes do solo atingir a DRA.

Para Pires et al. (2008), os resultados com estudos para diferentes lâminas de irrigação em pivô central permitiram concluir que um aumento da lâmina de água proporciona redução da necessidade de irrigação mensal. Desta forma, nota-se que um pequeno aumento da lâmina adotada resulta em considerável redução do número de irrigações. Portanto, seguindo esta metodologia, a lâmina de irrigação de 27,7 mm (MEE) poderia ser aplicada sempre que a ETm acumulada atingisse o valor da MEE para irrigação, através de turnos de regas variáveis de irrigação. As irrigações podem ser realizadas com lâminas em intervalos de regas fixos ou não, e a adoção dos critérios envolvidos na tomada de decisão depende do nível tecnológico da propriedade, da instrumentação disponível, da cultura, das condições edafoclimáticas, do custo, da qualidade e disponibilidade de água, do método e da rentabilidade associada à atividade.

Outro fator que deve ser destacado é o uso do plantio direto na área irrigada, a quantidade de palhada sobre o solo neste trabalho atingiu 4,5 t ha<sup>-1</sup>, uma vez que solos cobertos com palhada aumentam a eficiência do uso de água, o qual foi monitorado através de régua medidoras de umidade Echo Probes.

Vários trabalhos de pesquisa com uso de palhada sobre o solo têm demonstrado a

diminuição dos custos na produção, principalmente na energia elétrica. Solos cobertos aumentam consideravelmente a eficiência no uso de água pelas culturas, reduzindo, conseqüentemente, os gastos com energia elétrica em sistemas irrigados. A maior eficiência do uso de água proporcionada pelo sistema de plantio direto se dá devido à presença de uma adequada cobertura morta, reduzindo, portanto, as perdas por evaporação da água do perfil de solo. A palhada atua na primeira fase do processo de evaporação da água, reduzindo a taxa de evaporação. A economia de água começa a ser importante a partir de 50% de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações. Estudos demonstraram uma economia de 105 mm de água com o sistema de plantio direto, utilizando cobertura com palhada no solo. Considerando uma área irrigada com pivô central de 100 hectares, a economia com energia elétrica pode chegar a R\$ 10.500,00. (MOREIRA, 2011).

É fundamental que ocorra uma transformação no manejo da irrigação, revertendo-se o objetivo fisiológico de maximizar a produtividade para um novo objetivo econômico, que é a maximização da receita líquida proporcionada pela irrigação. Esse enfoque

é gerado pelo estreitamento nas margens de lucro dos agricultores.

A otimização da irrigação gera a redução da lâmina de água aplicada e da produção por unidade de área. A demanda de irrigação suplementar real necessária varia de acordo com a região, realçando a importância de estar atento à localização do sistema de irrigação ao adotar o critério de irrigação suplementar.

## Considerações finais

O peso de mil sementes para a cultivar de soja, em estudo, apresentou melhor eficiência técnica para a produção na estratégia de irrigação com uma lâmina de irrigação de 30 mm, sendo que para a cultivar em estudo a máxima eficiência econômica ocorreu com uma lâmina de irrigação de 27,7 mm.

Através desses resultados fica comprovado que o uso de irrigação suplementar na cultura da soja aumenta a produtividade de grãos e aumenta a receita líquida, na região fronteira-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, para as condições, características do período e fatores considerados.

## AUTORES

Claiton Ruviaro - Dr., UFSM - professor/pesquisador do departamento de Ciências Agrárias - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) - Campus de Santiago. E-mail: e-mail: ruviaro@urisantiago.br

Jonas Gaspar Lima Dorneles - Estudante de Agronomia da URI - Campus de Santiago - Bolsista de Iniciação Científica/CNPq-URI. E-mail: agro.jonas@hotmail.com

Angélica Marian da Silva - Estudante de Agronomia da URI - Campus de Santiago - Bolsista de Iniciação Científica/PIIC - URI. E-mail: angelmarian21@yahoo.com.br

Cassio Alberto Vielmo Ben - Estudante de Agronomia da URI - Campus de Santiago - Bolsista de Iniciação Científica/PIIC-URI. E-mail: cassio.ben@bol.com.br

## REFERÊNCIAS

- CASAGRANDE, E. C. **Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja**. Londrina, ago. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbfv/v13n2/9366.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2011.
- CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, p.907-916, 2002. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/cgi/content/full/89/7/907>>. Acesso em: 17 abr. 2009.
- COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. Parecer Técnico nº 2542/2010. 2010. Disponível em: <<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/15350.html>> Acesso em: 01 ago. 2011.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul/Embrapa-CNPT, 2004. 400p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, nono levantamento, junho 2011**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/110609085047graos-boletim\\_junho-2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/110609085047graos-boletim_junho-2011.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2011.
- CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE MEIO AMBIENTE E RESPONSABILIDADE SOCIAL. **Relatório IPCC/ONU**. Novos Cenários Climáticos. 2007. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2011.
- CUNHA, G.R. et al. **Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119, 1998.
- EMBRAPA. **Centro nacional de pesquisa de solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa solo, 1999.
- GOMES, A. C. S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na região de Santiago, RS**. 2007. 132 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2007.
- HERZOG, R. L. DAS.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.771-780, 2004.
- KRON, A.P. et al. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v.67, p.43-49, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052008000100005&script=sciabstract>>. Acesso em: 17 abr. 2009. doi: 10.1590/S0006-87052008000100005.
- KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 81 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2006.
- MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. 1 ed. São Paulo: ITAL, p.1 174. 1981.

- MIRANDA, G. V. **Diversidade genética e desempenho de cultivares de soja como progenitores**. 1998. 117f.. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, diretoria de terras e colonização, secção de geografia, 1961. 46 p.
- MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. DE C.; PAULETTI, V. Produtividade de soja e acúmulo de nutrientes em função de sistemas de preparo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBCS, 2002. CD Rom.
- MOREIRA, J. A. A. **Manejo adequado permite economia de água e energia em sistemas irrigados**. Set. 2011. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2011/setembro/3a-semana>>. Acesso em: 25 set. 2011.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 31 p.
- OLIVEIRA, J. S.; ZOCOLER, J. L. Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro num sistema pivô central com bombeamento a diesel sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.1, jan.- abr. 2010.
- PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O. BRUNINI, O. Agricultura irrigada. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, junho, 2008. Disponível em: <[http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/Revista\\_Apta\\_Artigo\\_Agricultura.pdf](http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/Revista_Apta_Artigo_Agricultura.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2010.
- RAMBO, L. et al. **Rendimento de grãos de soja em função do arranjo de plantas**. Ciência Rural, v.33, n.3, p.405-411. 2003.
- RAMBO, L. et al. Rendimento dos grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. Scientia Agraria, v. 3, n. 1-2, p. 79-85, 2002.
- ROSA, G. M. **Análise econômica da implantação de sistemas de irrigação na produção de grãos na região do planalto do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, UFSM, 1994. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- SUTCLIFFE, J. F. **As plantas e a água**. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1980.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n.9, p.1389- 1396, 1994.
- VIVAN, G. A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo Fundo, RS**. 2010. 87 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.