



## ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE DÉFICIT HÍDRICO NA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA SOJA

R. Gava<sup>1\*</sup>, J. A. Frizzone<sup>2</sup>, R. L. Snyder<sup>3</sup>, B. M. de Almeida<sup>2</sup>, P. S. L. de Freitas<sup>4</sup>, R. Rezende<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UFMS – Univ Federal do Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, MS, Brasil

<sup>2</sup>USP – Univ São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP, Brasil

<sup>3</sup>UC DAVIS, Davis, Califórnia, Estados Unidos

<sup>4</sup>UEM – Univ Estadual de Maringá, PR, Brasil

Article history: Received 01 August 2016; Received in revised form 25 August 2016; Accepted 06 September 2016; Available online 29 September 2016.

### RESUMO

A utilização do déficit hídrico controlado na irrigação reduz os custos de produção. Assim, esse trabalho propôs estudar a irrigação com déficit em diferentes fases da cultura da soja. O experimento foi conduzido no Dep. de Eng. de Biosistemas-ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, no ano agrícola 2012/13, utilizando uma casa de vegetação equipada com 48 lisímetros de drenagem de 1,1 m de largura, 1,3 m de comprimento e 0,75 m de profundidade. O delineamento foi em blocos casualizados com 4 repetições e para aplicação dos tratamentos, o ciclo da cultura foi dividido nos seguintes períodos fenológicos: 1º) Desenvolvimento Vegetativo; 2º) Floração ao Início da Frutificação; 3º) Completa Formação de Vagens à Formação da Produção e 4º) Maturação. A Evapotranspiração da Cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada pelo método de Penman Montheith-FAO. Para a comparação com o tratamento de irrigação plena (Testemunha), foi utilizado o teste de estatístico de Dunnett. Os tratamentos constaram de 4 lâminas de irrigação (30, 50, 100 e 150% da ET<sub>c</sub>) aplicadas em cada um dos quatro períodos fenológicos, totalizando 12 tratamentos. Os resultados mostraram que as lâminas de Déficit reduziram a produtividade quando aplicadas no ciclo total. Porém, quando aplicadas somente em subperíodos, não apresentaram diferenças em relação à irrigação plena.

**Palavras-chave:** Estresse hídrico; irrigação com déficit; irrigação em soja.

### STRATEGIES OF DEFICIT WATER MANAGEMENT IN IRRIGATION OF SOYBEAN CROP

#### ABSTRACT

The use of water deficit controlled in irrigation reduces production costs. This study aimed to study the deficit irrigation at different stages of soybean. The experiment was conducted in the Biosystems Engineering Department - ESALQ/USP in Piracicaba-SP, soybean season 2012/13, in a greenhouse equipped with 48 drainage lysimeters 1.1m wide by 1.3m long and 0.75m deep was used. The experiment was made in randomized block design with four replications. For the application of treatments the crop cycle was divided into the following phenological period: S1(All of Vegetative Stage), S2(Beginning Bloom until Full Pod); S3(Beginning Seed until Full Seed) and S4(Beginning Maturity until Full Maturity). Crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) was calculated by the Penman-FAO Montheith. For comparison with the full irrigation treatment (control), it was used Dunnett statistic test. The treatments consisted of four irrigation depths (30, 50, 100 and 150% of ET<sub>c</sub>) applied in each of the four

\* [ricardo.gava@ufms.br](mailto:ricardo.gava@ufms.br)

subperiods, totaling 12 treatments. The results showed that the water depths of deficit reduced yield when applied in full cycle. However, when applied only in subperiods showed no differences compared to full irrigation.

**Keywords:** Water Stress, deficit irrigation, irrigation to soybeans.

## INTRODUÇÃO

A utilização da irrigação é uma das práticas mais eficazes na melhoria da produtividade e da qualidade de grãos, sendo que uma das vantagens de áreas irrigadas é não haver necessidade, entre as plantas, de competir pelo suprimento de água (KUSS, 2006). O suprimento adequado de água, também está diretamente relacionado com a disponibilidade de nutrientes presente no solo às plantas.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO prevê que a irrigação nos países em desenvolvimento deverá crescer em 20% até o ano 2030 e que a utilização de sistemas mais eficientes de produção, que conservem a umidade dos solos e melhorem a infiltração da água, devam ser promovidos pelos governos. Segundo dados divulgados em 2010, o Brasil usa 63% de seus recursos em irrigação, 18% para uso humano, 14% para uso animal e 5% para uso industrial. O crescimento populacional, até 2025 deverá ser de mais de nove bilhões de pessoas, exigindo um aumento de 50% na produção de alimentos, sendo a maior parte produzida em área irrigada (FAO, 2010).

Um desafio significativo da agricultura irrigada é produzir alimentos seguros, utilizando a água de forma eficiente. A “produtividade de água” (produção por unidade de água utilizada) deve ser aumentada (Du et al., 2016). A utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, pode reduzir a utilização de água e de energia elétrica sem prejudicar a produtividade (GAVA et al., 2015).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja e tem potencial para aumentar sua produção e suas áreas (ANA, 2014). Com a prática da irrigação é

possível aumentar a produção sem necessidade de aumentar as áreas de plantio. Isso pode contribuir, inclusive, para diminuir desmatamentos como é o caso da Floresta Amazônica, na qual as principais causas de desmatamento são a abertura de novas áreas para produção de soja (GAVA et al., 2015).

A necessidade de se produzir com qualidade e em maior quantidade, bem como a diminuição dos impactos ambientais negativos sobre o recurso natural água, exigem da comunidade científica, novos conhecimentos sobre as reais necessidades hídricas das culturas (REIS et al., 2007; MORAIS et al., 2008; SANTANA et al., 2009).

A soja (*Glycine Max*, (L.) Merrill.) é uma planta resistente ao estresse hídrico, desde que essa condição não ocorra em estádios críticos do ciclo da planta. Assim, é importante o estudo da ocorrência de déficit hídrico em diferentes fases fenológicas da soja. De acordo com Mundstock & Thomas (2005), a deficiência hídrica no início do ciclo da soja, causa forte redução na emissão de novos ramos reduzindo potencialmente o número de nós que iriam produzir legumes. Porém a planta pode se recuperar parcialmente, caso haja melhor disponibilidade de água após o florescimento, podendo emitir e fixar um número maior de flores nos novos nós para produzir legumes, podendo ainda reduzir a formação de novas folhas para sustentar o enchimento de grãos.

Com boa disponibilidade de água no período vegetativo, mas com falta no florescimento e início de formação dos legumes, caracteriza-se uma situação dramática para a lavoura, sendo esse o período mais sensível da planta ao déficit hídrico, pois os efeitos se darão sobre o

abortamento de flores, óvulos e legumes, posteriormente, sobre o tamanho dos grãos (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

Com a hipótese de que, em algumas fases da cultura da soja é possível manejar

a irrigação com déficit sem prejudicar a produtividade, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes estratégias de irrigação, visando diminuir a lâmina de aplicação de água em fases específicas da cultura.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, em Piracicaba – SP. O clima da região é subtropical úmido (Cwa) de acordo com a classificação de Köppen.

Foi utilizada uma casa de vegetação equipada com 48 lisímetros de drenagem de 1,1 m de largura por 1,3 m de comprimento e 0,75 m de profundidade.

A textura do solo foi determinada no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ/USP), sendo classificado como Franco Arenoso. Para garantir que a condição do solo no interior dos lisímetros estivesse o mais próximo possível da condição real, o solo foi realocado nos lisímetros, seguindo um processo cuidadoso de reposição em camadas bem como de densidade, buscando sempre aproximar o máximo possível da condição de campo. Para isso o solo foi retirado em camadas de 0,1 em 0,1 metros e recolocado nas caixas obedecendo a ordem dos horizontes. Após ensaio laboratorial para determinação da densidade, foram pesados volumes conhecidos de solo a serem recolocados em cada camada de nas caixas, utilizando um compactador graduado.

A cultivar de soja utilizada foi a BMX Potência RR, indicada para os estados de São Paulo, Paraná e Mato

Grosso. O plantio foi realizado em 06 de novembro de 2012.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 12 tratamentos (Tabela 01), e 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada lisímetro recebeu 3 linhas de plantio, espaçadas em 0,45 m, sendo utilizada para as avaliações a linha do meio e as duas externas, consideradas bordaduras.

Foram definidos quatro períodos fenológicos da cultura, adaptados da metodologia apresentada por Fehr e Caviness (1977). A aplicação dos tratamentos se iniciou no estágio V2, para garantir o estabelecimento inicial das plantas em todas as parcelas. Os períodos fenológicos foram: S1 – Desenvolvimento Vegetativo (V2 a V12); S2 – Floração ao Início da Frutificação (R1 a R3); S3 – Completa Formação de Vagens à Formação da Produção (R4 a R6); e S4 – Maturação (R7 a R8).

Os tratamentos foram aplicados de forma que a lâmina de irrigação variou em cada um dos quatro períodos fenológicos. Quando não estavam no período de aplicação do respectivo tratamento era feita a irrigação plena.

Na Tabela 1 são apresentadas as descrições de cada tratamento aplicado, bem como os códigos utilizados.

**Tabela 1.** Descrição detalhada dos tratamentos aplicados e os respectivos códigos utilizados

Descrição	Nº	Código	Significado
Testemunha	1	IP	Reposição de 100% da ETc no ciclo total (Testemunha)
Déficit de 70%	2	D1S1	Reposição de 30% da ETc apenas no período fenológico 1
Déficit de 70%	3	D1S2	Reposição de 30% da ETc apenas no período fenológico 2
Déficit de 70%	4	D1S3	Reposição de 30% da ETc apenas no período fenológico 3
Déficit de 70%	5	D1S4	Reposição de 30% da ETc apenas no período fenológico 4
Déficit de 70%	6	D1CT	Reposição de 30% da ETc no ciclo total da cultura
Déficit de 50%	7	D2S1	Reposição de 50% da ETc apenas no período fenológico 1
Déficit de 50%	8	D2S2	Reposição de 50% da ETc apenas no período fenológico 2
Déficit de 50%	9	D2S3	Reposição de 50% da ETc apenas no período fenológico 3
Déficit de 50%	10	D2S4	Reposição de 50% da ETc apenas no período fenológico 4
Déficit de 50%	11	D2CT	Reposição de 50% da ETc no ciclo total da cultura
Excesso	12	ECT	Reposição de 150% da ETc no ciclo total da cultura

A Evapotranspiração da Cultura (ETc) foi obtida pelo produto da Evapotranspiração de Referência (ETo) e o Coeficiente de Cultivo (Kc). As estimativas de ETo foram obtidas pelo

método Penman-Monteith-FAO, conforme Allen et al. (1998). Os dados foram obtidos em uma estação meteorológica automática da marca Campbell Scientific, instalada no interior da casa de vegetação (Figura 1).

**Figura 1.** Estação meteorológica instalada no centro da área experimental

Os coeficientes de cultivo foram definidos conforme Doorenbos & Kassam (1994), e a profundidade do sistema

radicular de cada subperíodo conforme Mantovani, et al. (1997) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Coeficientes de cultivo e profundidade efetiva do sistema radicular (Pe)

Períodos fenológicos	<sup>1</sup> Kc (adm.)	<sup>2</sup> Pe (m)
S a V2 (Emergência ao crescimento)	0,35	0,15
V2 a R1 (Desenvolvimento Vegetativo à floração)	0,75	0,30
R1 a R5 (Floração à Frutificação)	1,07	0,40
R5 a R7 (Formação da produção à Maturação)	0,75	0,40

Fonte: <sup>1</sup>FAO Irrigation Paper 56; <sup>2</sup>Mantovani, et al. (1997)

Para permitir uma boa uniformidade e controle de lâminas, cada parcela foi irrigada individualmente por um sistema de gotejadores auto-compensantes. Cada lisímetro recebeu três linhas com quatro gotejadores cada, com vazão de  $0,9 \text{ L h}^{-1}$ , totalizando 12 gotejadores e uma vazão  $10,8 \text{ L h}^{-1}$  por parcela.

A umidade do solo foi monitorada utilizando o equipamento Time-Domain Reflectrometer (TDR), do modelo TDR 100 da Campbell Scientific, por meio de sondas instaladas em todas as parcelas em três profundidades: 0,05, 0,30 e 0,50 m.

O equipamento foi calibrado para o solo utilizado na pesquisa, por meio de

coluna de solo de volume conhecido, onde foram feitas leituras diárias durante três meses deixando a coluna de solo perder umidade naturalmente. Assim, obteve-se a umidade com base massa ( $\mu$ ) para cada leitura diária, e após a secagem da coluna, determinou-se a densidade do solo, possibilitando transformar os dados de  $\mu$  em umidade em base volume. Os dados do conteúdo de água obtidos pelo equipamento TDR, foram correlacionados com umidade em base volume para obtenção da curva de calibração (Equação 1), alcançando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9947.

$$\theta = 0,0001x^3 - 0,0038x^2 + 0,0578x - 0,144 \quad (1)$$

Onde:  $x$  – Leitura de conteúdo de água obtida pelo equipamento Time-Domain Reflectrometer;

$\theta$  – Umidade Volumétrica, %.

A colheita foi realizada em 08 de março de 2013, quando foram avaliados os parâmetros biométricos em 20 plantas alocadas na linha central das parcelas.

Foi realizada a determinação da altura das plantas, considerada como a máxima distância vertical da planta, sendo determinada com trena graduada no final de cada estágio.

A altura de inserção do primeiro legume foi considerada pela máxima distância vertical entre o solo e o primeiro legume mais próximo do solo. Essa medida foi determinada por meio de trena graduada no final do ciclo da cultura.

O número de legumes por planta foi determinado através de contagem manual,

sendo distinguidos legumes sadios, abortados e parcialmente abortados, por meio de análise qualitativa.

O número de grãos por legume foi realizado através de contagem manual, sendo distinguidos grãos sadios, e grãos abortados por meio de análise qualitativa.

Adotou-se uma metodologia onde foram contadas as vagens de acordo com sua quantidade de cavidades. Dessa forma foram contadas separadamente a vagens de uma, duas, três e quatro cavidades. Depois da abertura individual de cada vagem foi realizada uma análise qualitativa de grãos abortados. Assim obteve-se o percentual de abortamento por meio da Equação 2.

$$Abort = \frac{Na}{Nc} * 100 \quad (2)$$

Onde: Abort – Quantidade de grãos que sofreram abortamento, %;

$Na$  – Número total de grãos considerados não abortados, adm;

$Nc$  – Número total de cavidades dos legumes, adm.

Efetou-se a pesagem da amostra total de grãos após secagem em estufa à  $65^\circ\text{C}$  e em seguida foi calculado o peso de 100 grãos.

Embora o grão de soja tenha um formato levemente elipsoidal, considerou-se a forma do grão como uma esfera perfeita para possibilitar os cálculos de

diâmetro médio. Primeiramente foi obtido o volume de um número conhecido de grãos com o auxílio de uma proveta de 1 litro de capacidade. Foi fixado o volume de 500 mL de água, em seguida foram despejados os grãos da amostra e visualizado o volume deslocado de líquido.

Esse volume de água é igual ao volume total da amostra com número de grãos previamente conhecido (Equação 3). Com esses valores utilizou-se a equação do volume da esfera rearranjando os fatores para chegar ao diâmetro do grão (Equação 4).

$$Vg = \frac{Vf - Vi}{Ng} \quad (3)$$

Onde: Vg – Volume de grãos, mL;

Vi – Volume inicial de água da proveta, mL;

Vf – Volume final lido na proveta após inserir os grãos da amostra, mL;

Ng – Número total de grãos da amostra.

$$D = 2 * \left( \sqrt[3]{\frac{2 * Vg}{4 \pi}} \right) \quad (4)$$

Onde: D – Diâmetro dos grãos, mm;

Vg – Volume de grãos, mm.

Após a colheita manual e a pesagem da matéria seca dos grãos, foi considerado no cálculo a adição de 13% de massa, devido a umidade média do grão na colheita, umidade essa na qual o grão é comercializado. Os dados obtidos foram referentes à colheita da linha central de plantio em cada lisímetro.

Para obter a produtividade em kg ha<sup>-1</sup> foi considerado o comprimento de 1,30 m de cada linha e seu espaçamento de 0,45 m. Com isso foi extrapolado para área referente a 1,0 ha de acordo com a Equação 5.

$$P = \left( \frac{LL * Ep * Ma}{LL} \right) * \left( \frac{1000}{Ep} \right) \quad (5)$$

Onde: P – Produtividade, kg ha<sup>-1</sup>;

LL – Comprimento da linha amostrada, m;

Ep – Espaçamento entre linhas, m;

Ma – Massa da amostra, kg.

A análise estatística foi realizada por meio do software ASSISTAT versão 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2002), utilizando o

teste de Dunnett, para comparação das médias de cada tratamento de maneira individual com a testemunha.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da análise estatística das oito variáveis estudadas, com seus respectivos coeficientes de variação e resultados do teste F de Fisher-Snedecor, e as comparações de médias dadas pelo teste de

Dunnett, que compara a média de cada tratamento individual com média do tratamento testemunha, que no caso desse trabalho foi o tratamento de irrigação plena durante todo o ciclo (IP).

**Tabela 3.** Resultados da análise de variância, para as fontes de variação de altura de inserção do primeiro legume, altura total de plantas, número de vagens por planta e número de grãos por planta

Tratamentos	APL <sup>(1)</sup> (cm)	ATP <sup>(1)</sup> (cm)	NVP <sup>(1)</sup>	NGP <sup>(1)</sup>
IP	11,6	110,3 <sup>a</sup>	35,0 <sup>a</sup>	67,0 <sup>a</sup>
D1S1	13,6	87,1 <sup>b</sup>	25,9 <sup>a</sup>	47,9 <sup>a</sup>
D1S2	10,2	99,5 <sup>a</sup>	32,9 <sup>a</sup>	59,6 <sup>a</sup>
D1S3	14,3	103,4 <sup>a</sup>	30,1 <sup>a</sup>	57,2 <sup>a</sup>
D1S4	12,5	101,4 <sup>a</sup>	34,5 <sup>a</sup>	66,0 <sup>a</sup>
D1CT	12,6	86,9 <sup>b</sup>	22,3 <sup>b</sup>	42,0 <sup>b</sup>
D2S1	11,2	99,6 <sup>a</sup>	27,1 <sup>a</sup>	52,7 <sup>a</sup>
D2S2	13,3	87,6 <sup>b</sup>	23,9 <sup>b</sup>	45,4 <sup>a</sup>
D2S3	14,6	107,6 <sup>a</sup>	28,4 <sup>a</sup>	52,4 <sup>a</sup>
D2S4	12,5	107,1 <sup>a</sup>	31,6 <sup>a</sup>	62,8 <sup>a</sup>
D2CT	12,7	71,4 <sup>b</sup>	16,4 <sup>b</sup>	27,2 <sup>b</sup>
ECT	11,2	110,7 <sup>a</sup>	39,4 <sup>a</sup>	76,1 <sup>a</sup>
Teste F	1,05 <sup>ns</sup>	5,50 <sup>**</sup>	7,47 <sup>**</sup>	6,13 <sup>**</sup>
CV(%)	20,60	10,50	15,98	19,36

(1) Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett; \*Significativo a 5% e \*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo; CV Coeficiente de Variação; altura de inserção do primeiro legume (APL), altura total de plantas (ATP), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por planta (NGP).

Foi verificado efeito dos tratamentos para as variáveis altura total de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de cem grãos e produtividade. Não houve diferença entre os tratamentos para as variáveis, altura de inserção do primeiro legume, porcentagem de abortamento e diâmetro de grãos. Essas variáveis podem estar mais relacionadas com as características genéticas de cada cultura, do que com fatores externos. A altura de inserção do primeiro legume pode influenciar na colheita mecanizada, de forma que quando os legumes estão muito próximos ao solo, podem ser perdidos no momento da colheita.

A altura total de plantas foi menor, em relação a testemunha, para o déficit severo ocorrido no período fenológico 1 (D1S1) e no ciclo total da cultura (D1CT). Já no caso da ocorrência de déficit moderado, a influência foi no período fenológico 2 (D2S2), mostrando que a água armazenada no solo permaneceu por mais tempo disponível. O déficit moderado também foi prejudicial para a altura total de plantas, quando ocorreu no ciclo total

(D2CT). Nas demais formas de ocorrência não houve diferença em relação a irrigação (Testemunha).

Já o número de vagens por planta, nas condições de déficit severo, só sofreu influência quando a ocorrência foi no ciclo total (D1CT). Para o déficit moderado, esta variável foi influenciada tanto para a ocorrência no ciclo total (D2CT) como no período fenológico 2 (D2S2). Isso pode ter ocorrido devido ao fato de que a planta tinha quantidade de água disponível favorável, até no momento da formação das vagens (período fenológico 2) quando então houve o déficit.

Resultados muito semelhantes foram encontrados para o número de grãos por planta, onde estes, diferiram em relação ao tratamento testemunha, em ambas as intensidades de déficit na ocorrência em ciclo total. Já a ocorrência em subperíodos alternados não foi prejudicial.

Os danos à produção de vagens foram maiores quando os déficits foram aplicados no ciclo total. Vale ressaltar que a ocorrência de déficit apenas no subperíodo do florescimento (D2S2) teve o

mesmo efeito da ocorrência no ciclo total (D1CT), que pode ser explicado pelo abortamento de flores nessa fase, assim como encontrado por Cunha *et al.* (2013), onde concluíram que o efeito significativo do manejo diferenciado sobre o número de grãos por vagem pode ser explicado pela ocorrência de déficit hídrico na floração, em tratamentos que receberam 60 e 40% menos água. Para Jadoski *et al.* (2003), no caso do feijoeiro, a redução no rendimento de grãos pela ocorrência de deficiência hídrica durante o período reprodutivo é ocasionada pela alta taxa de abortamento de óvulos o que, sem dúvida, reduz o número de grãos por vagem.

De fato, os resultados obtidos por Ávila *et al.* (2010) apontam o pré-florescimento, a formação das vagens e o enchimento de grãos como as fases mais sensíveis à deficiência hídrica e, a falta de água nesses períodos, resultou em queda na produtividade e em alguns dos seus componentes.

A ocorrência de déficit hídrico severo durante o ciclo total da cultura (D1CT) reduziu o crescimento e a quantidade de grãos por planta, o que resultou em queda de produtividade.

O déficit severo aplicado na fase de enchimento de grãos (D2S3) resultou em grãos de menor qualidade e mais leves, como pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados da análise de variância para as fontes de variação do abortamento, diâmetro de grãos, peso de cem grãos e produtividade

Tratamentos	ABT <sup>(1)</sup> (%)	DMG <sup>(1)</sup> (mm)	PCG <sup>(1)</sup> (g)	PRD <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
IP	7,1	6,4	14,6 <sup>a</sup>	3384,3 <sup>a</sup>
D1S1	8,1	6,5	15,8 <sup>a</sup>	2626,0 <sup>a</sup>
D1S2	12,7	6,3	14,9 <sup>a</sup>	3042,8 <sup>a</sup>
D1S3	6,6	6,2	14,2 <sup>a</sup>	2736,5 <sup>a</sup>
D1S4	7,4	5,8	13,1 <sup>a</sup>	3087,4 <sup>a</sup>
D1CT	8,1	6,8	14,5 <sup>a</sup>	1956,8 <sup>b</sup>
D2S1	4,9	5,9	13,6 <sup>a</sup>	2388,0 <sup>a</sup>
D2S2	7,4	6,2	14,5 <sup>a</sup>	2271,3 <sup>a</sup>
D2S3	11,7	5,9	12,3 <sup>b</sup>	2228,0 <sup>a</sup>
D2S4	4,8	6,2	13,8 <sup>a</sup>	2968,7 <sup>a</sup>
D2CT	14,9	6,0	13,4 <sup>a</sup>	1224,8 <sup>b</sup>
ECT	4,1	6,0	15,3 <sup>a</sup>	4037,2 <sup>a</sup>
Teste F	1,87 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	3,42 <sup>**</sup>	5,79 <sup>**</sup>
CV(%)	59,77	8,25	7,48	22,7

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett; \*Significativo a 5% e \*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo; CV Coeficiente de Variação, abortamento (ABT), diâmetro de grãos (DMG), peso de cem grãos (PCG) e produtividade (PRD)

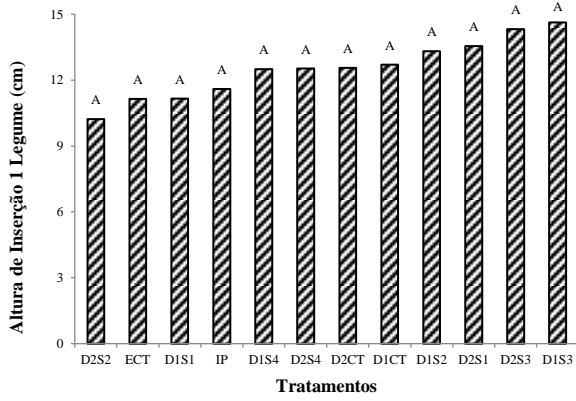
Para os dois níveis de déficit testados, a ocorrência no ciclo total (D1CT e D2CT) foi prejudicial à produtividade, porém, quando aplicados isoladamente somente em subperíodos, não apresentaram diferenças entre os períodos de ocorrência (Tabela 4). Fietz & Urchei (2002) ao estudar a ocorrência de déficit hídrico em

áreas não irrigadas do estado do Mato Grosso do Sul, concluíram que esta é uma das principais causas de perdas agrícolas na região, pois na safra de verão ocorrem com frequência, veranicos e estiagens.

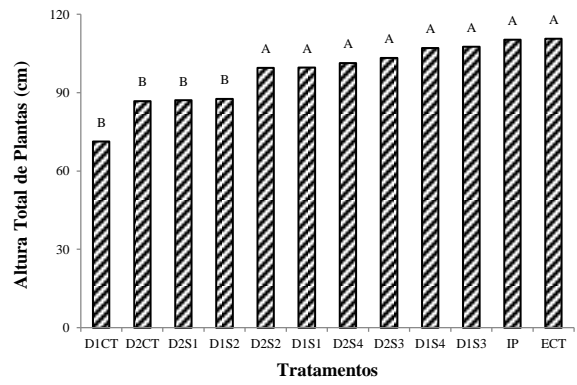
A Figura 2 apresenta os gráficos da análise quantitativa e qualitativa de cada variável individualmente.



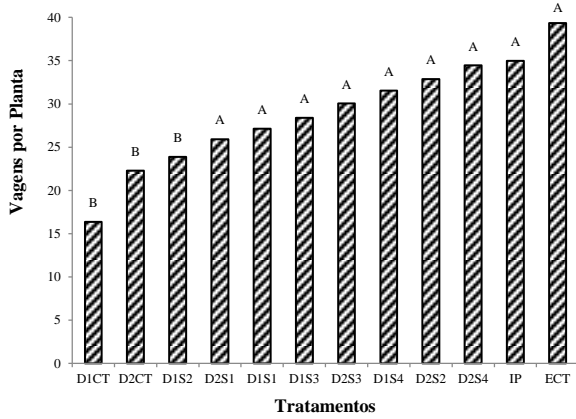
A.



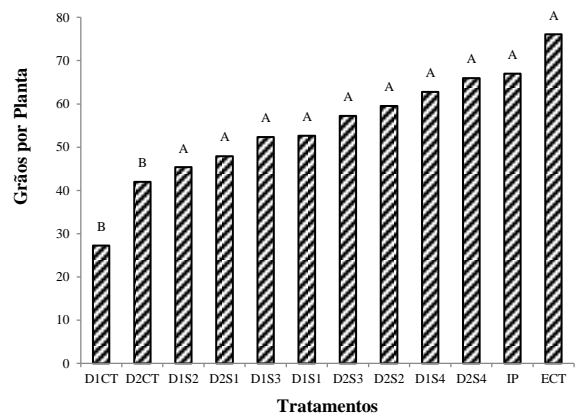
B.



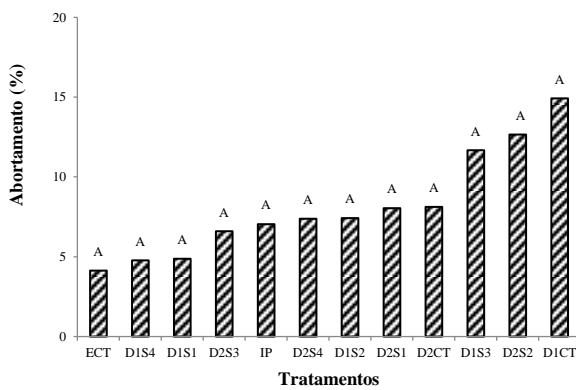
C.



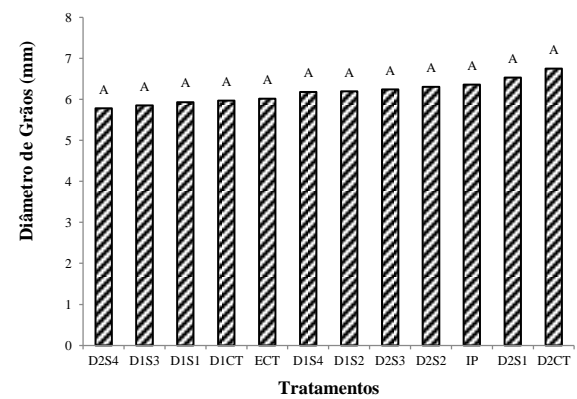
D.



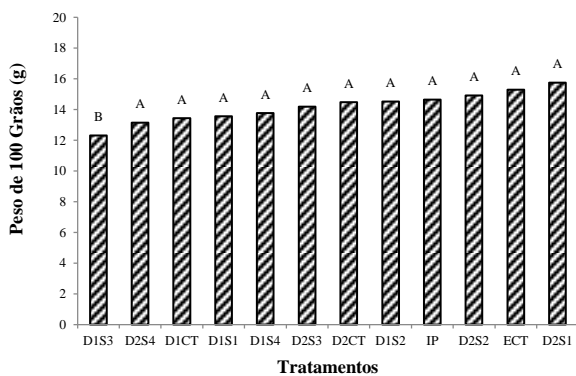
E.



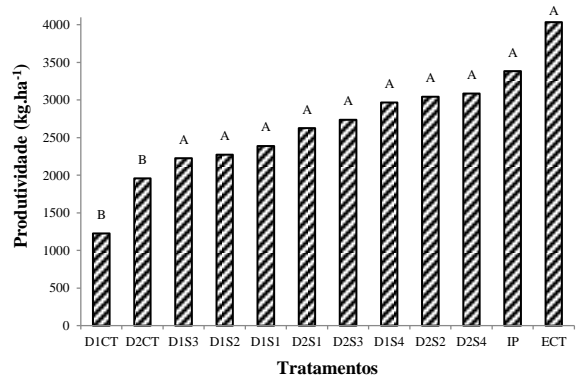
F.



G.



H.



**Figura 2.** Comparação de médias pelo teste de Dunnett, para altura de inserção do primeiro legume (A), altura total de plantas (B), vagens por planta (C), grãos por planta (D), abortamento (E), diâmetro de grãos (F), peso de cem grãos (G) e produtividade (H)

O excesso de irrigação não foi prejudicial, mostrando que para o tipo de solo estudado, pode ocorrer um excesso de até 50% da ETc sem que a planta sofra estresse hídrico. Porém, Santana *et al.* (2008), trabalhando com feijão, constataram que tanto a falta quanto o

excesso de água provocam má formação dos grãos, indicando que a disponibilidade hídrica adequada durante os estádios fenológicos do feijoeiro pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, o que propicia melhores rendimentos.

## CONCLUSÕES

O déficit severo e moderado, quando ocorrem continuamente ao longo do ciclo da soja, influenciam no número de vagens por planta, com mesma intensidade, que a ocorrência de maneira isolada apenas nos períodos de fase vegetativa, e de floração.

A produtividade é afetada pela ocorrência de déficit hídrico no período fenológico que compreende entre a completa formação de vagens e formação da produção.

É possível manejar irrigação com déficit hídrico na cultura da soja nas fases

fenológicas de desenvolvimento vegetativo, floração ao início da frutificação e maturação, sem afetar os componentes de produção.

A ocorrência de déficit moderado e severo nas fases de desenvolvimento vegetativo e floração ao início da frutificação, respectivamente, prejudicaram o crescimento das plantas, mas não afetaram a produtividade.

O excesso de irrigação não causou estresse nas plantas, pelas características do solo em estudo.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPEs, pela concessão da bolsa, ao Departamento de Engenharia de Biosistemas-LEB/ESALQ/USP, pela concessão da área

experimental e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Engenharia de Irrigação-INCTEI pelo auxílio ao experimento.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. **FAO Irrigation Paper 56**. FAO, Roma, 301p. 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil, **Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 2014.

ÁVILA, M. R.; BARIZÃO, D. A. O.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; ALBRECHT, L. P. Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de

bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agraria**, v.11, p.221-230, 2010.

CUNHA, P.C.R da.; SILVEIRA, P.M. da.; NASCIMENTO, J.L. do.; ALVES JÚNIOR, J. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.735-742, 2013.

Doorenbos, J.; Kassam, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.**

- Campina Grande: UFPB/FAO, 1994. 306p. FAO. Estudos: Irrigação e Drenagem, 33
- Du, T.; Kang, S.; Zhang, J.; Davies, W. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v.4, p.1-17, 2015.
- Fehr, W.R.; Caviness, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. Special Report, 80
- FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.262-265, 2002.
- GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, p.349-359, 2015.
- JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; MELO, G. L.; RODRIGUES, M.; FRIZZO, Z. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, v.8, p.1-9, 2003.
- KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
- MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C.; LEAL, B.G. **SISDA – Sistema de suporte a decisão agrícola**. In: Congresso de Informática Aplicada à Agropecuária e Agroindústria, 1, e Workshop on Supply Chain Management in Agribusiness, 1997, **Belo Horizonte**. Agrosoft 97. Juiz de Fora: Softex- Agrosoft, 1997.CD-Rom
- MORAIS, N. B.; BEZERRA, F. M. L.; MEDEIROS, J. F.; CHAVES, S. W. P. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, p.369-377, 2008.
- MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre, Evangraf, 2005. 31p.
- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). **Relatórios**  
Disponível em : <  
<https://www.fao.org.br/ultimosRelatoriosFao.asp>>. Acesso em: 10 out. 2010
- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v.25, p.75-84, 2007.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; BRAGA, J. C.; GERVÁSIO, G. G. Coeficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação. **Irriga**, v.13, p.92-112, 2008.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciências e Agrotecnologia**, v.33, p.532-538, 2009.
- SILVA, F. de A. S. e. & AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.