



## ESTRESSE HÍDRICO EM DIFERENTES FASES DA CULTURA DA SOJA

Ricardo Gava<sup>1</sup>, José Antônio Frizzzone<sup>2</sup>, Richard Leslie Snyder<sup>3</sup>, Jefferson Vieira Jose<sup>4</sup>,  
Eusímio Felisbino Fraga Junior<sup>5</sup>, Acácio Perboni<sup>6</sup>

### RESUMO

No Brasil a Soja é plantada em diferentes regiões com os mais diversos regimes de chuvas. Assim esse trabalho propôs estudar o estresse hídrico causado tanto por déficit como por excesso de aplicação de água na cultura da soja. O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia de Biosistemas-ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, de dezembro de 2011 a março de 2012. Foi construída uma casa de vegetação, equipada com 44 lisímetros de drenagem de 1,1 m x 1,3 m e 0,75 m de profundidade. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos constaram de 3 lâminas de irrigação: Déficit com 50% da Evapotranspiração da Cultura (ETc); Excesso (150% da ETc) e Irrigação Plena (100% da ETc) variando em 11 diferentes formas de ocorrência. O ciclo da cultura foi dividido nos seguintes subperíodos: S1 (Desenvolvimento Vegetativo); S2 (Floração à Início da Frutificação); S3 (Completa Formação de Vagens à Formação da Produção); S4 (Maturação). Todos os tratamentos recebiam irrigação plena, exceto quando estavam no período de aplicação do respectivo tratamento. Os tratamentos foram: Déficit no ciclo total, Déficit no S1, Déficit no S2, Déficit no S3, Déficit no S4, Excesso no ciclo total, Excesso no S1, Excesso no S2, Excesso no S3, Excesso no S4, Irrigação Plena. O Excesso não foi prejudicial para nenhuma das variáveis analisadas possivelmente pelo fato do solo ser arenoso. Já o Déficit resultou em perdas significativas de produtividade quando aplicado na fase de enchimento de grãos.

**Palavras-chave:** Irrigação excessiva, irrigação com déficit, soja irrigada.

## WATER STRESS IN DIFFERENT GROWTH STAGES OF SOYBEAN CROP

### SUMMARY

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Mestre em Agronomia, Doutor em Irrigação e Drenagem ESALQ/USP, Professor Adjunto na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-UFMS, CEP 79560-000, Chapadão do Sul-MS. Fone: (67) 9819-3314, e-mail: ricardo.gava@ufms.br

<sup>2</sup> Professor Titular, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo. Email:frizzzone@usp.br

<sup>3</sup> Especialista em Biometeorologia, UC DAVIS, Davis, Califórnia. E-mail: rlsnyder@ucdavis.edu

<sup>4</sup> Pós-Doutorando, Irrigação e Drenagem ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo. E-mail: jfvieira@usp.br

<sup>5</sup> Professor Adjunto, UFU, Uberlândia, Minas Gerais. E-mail: eusimio@usp.br

<sup>6</sup> Doutorando, Irrigação e Drenagem ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo. E-mail: acacio\_perboni@yahoo.com.br

In Brazil soybean is planted in different regions with very different rainfall patterns. Thus, this study aimed to study the water stress caused by both deficit such as excess. The experiment was conducted at the Biosystems Engineering Department-ESALQ/USP in Piracicaba – SP, December 2011 to March 2012. A greenhouse was built, equipped with 44 drainage lysimeters of 1.3m x 1.1m and 0.75m of deep. The experiment was made in randomized block design with four replications. The treatments consisted of three irrigation depth: Deficit with 50% of Evapotranspiration (ETc); Excess ( 150% of ETc) and Full Irrigation (100% ETc) ranging in 11 different forms of occurrence. The crop growth stage was divided into the following subperiods: S1 (All of Vegetative Stage), S2 (Beginning Bloom until Full Pod); S3 (Beginning Seed until Full Seed); S4 (Beginning Maturity until Full Maturity). All treatments received full irrigation, except when they were in the period of application of the respective treatment. The treatments were: deficit all the time, Deficit just in S1, Deficit just in S2, Deficit just in S3, Deficit just in S4, Excess all the time, Excess just in S1, Excess just in S2, Excess just in S3, Excess just in S4, Full Irrigation. Excess was not detrimental to any of the variables. However, the deficit applied during grain filling resulted in significant productivity losses.

**Keywords:** Excessive irrigation, deficit irrigation, irrigated soybeans

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja e tem potencial para aumentar suas áreas irrigadas o que consequentemente aumenta a produção. No entanto, praticamente não possui áreas de soja irrigada. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção mundial de soja na safra 2008/2009 foi de 210,6 milhões de toneladas, com uma área plantada de 96,3 milhões de hectares (USDA, 2010). Os EUA se mantêm como maior produtor mundial do grão com 80,5 milhões de toneladas, seguido do Brasil com 57,1 milhões de toneladas. No Brasil o maior produtor é o Estado do Mato Grosso, que juntamente com o Mato Grosso do Sul, totalizam mais de 30% da área plantada, chegando em 2015 à 17,6 milhões de hectares (CONAB, 2015).

Um estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) demonstrou que na região sul do Mato Grosso do Sul, mesmo em anos com quantidade e distribuição de chuvas “satisfatórias”, as simulações de balanço hídrico mostraram que houve a necessidade de complementação com irrigação para atender à demanda de água pela soja em seu ciclo (FLUMIGNAN et al., 2015).

Com a crescente demanda mundial por alimentos e o potencial de expansão das áreas

agrícolas chegando ao fim, é necessário o investimento em tecnologias que contribuam com o aumento da produtividade das áreas agrícolas já existentes. Ao mesmo tempo, o uso de técnicas mais eficientes e irrigação, podem reduzir a utilização de água e energia, reduzindo os custos de produção devido a menor utilização de recursos.

Segundo dados divulgados pela FAO, o Brasil usa 63% de seus recursos hídricos em irrigação, 18% para uso humano, 14% para uso animal e 5% para uso industrial. O crescimento populacional, que até 2025 deverá ser de mais nove bilhões de pessoas, vai exigir um aumento em 50% na produção de alimentos, sendo a maior parte produzida em área irrigada. A FAO prevê que a irrigação nos países em desenvolvimento deverá crescer em até 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, devem ser promovidos pelos governos (FAO, 2010).

A utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, pode reduzir a utilização de água e energia elétrica.

Se por um lado a falta de água traz prejuízos à cultura, o excesso também é prejudicial. Segundo Doorenbos e Kassam (1994) o teor de água no solo, durante a germinação, não deve exceder 85% nem ficar abaixo de 50% da água disponível. Segundo os autores, esse seria o nível de esgotamento

permissível para o manejo da irrigação em condições médias de evapotranspiração que são de cerca de 5 a 6 mm d<sup>-1</sup> para a cultura da Soja.

Estudando o déficit de irrigação como estratégia de manejo da água em feijoeiro, Saad (1996) definiu que o déficit pode aumentar a receita líquida do produtor desde que não seja aplicado nos estádios fenológicos da floração e enchimento de grãos. O custo do déficit de irrigação depende do estágio fenológico, do preço do produto e do custo da água e foi maior para os estádios fenológicos relacionados ao período reprodutivo e de formação da produção do feijoeiro.

O objetivo deste trabalho foi estudar o estresse hídrico na cultura da soja tanto no que diz respeito ao déficit como excesso de aplicação de água.

## MATERIAL E MÉTODOS

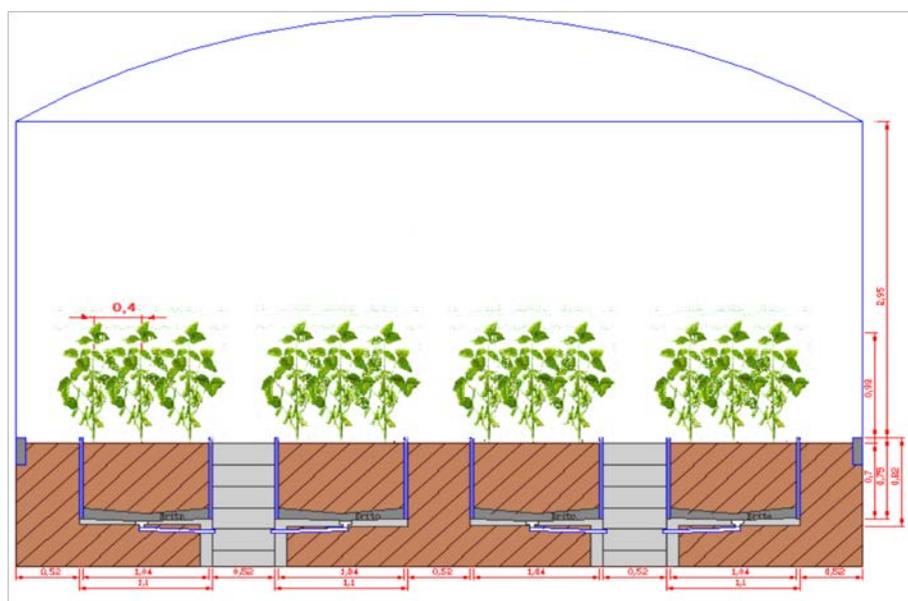
O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no Departamento de Engenharia de Biossistemas-LEB/ESALQ/USP em Piracicaba – SP, cujo clima da região é subtropical úmido (Cwa) de acordo com a classificação de Köppen. A cultivar de soja utilizada foi a EMBRAPA BRS 316-RR, indicada para os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. O plantio foi realizado em dezembro de 2011 e a colheita em março de 2012, caracterizando-se assim pela Safra 2011/12. O solo utilizado foi

classificado no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Biossistemas (ESALQ-USP) como Franco Arenoso.

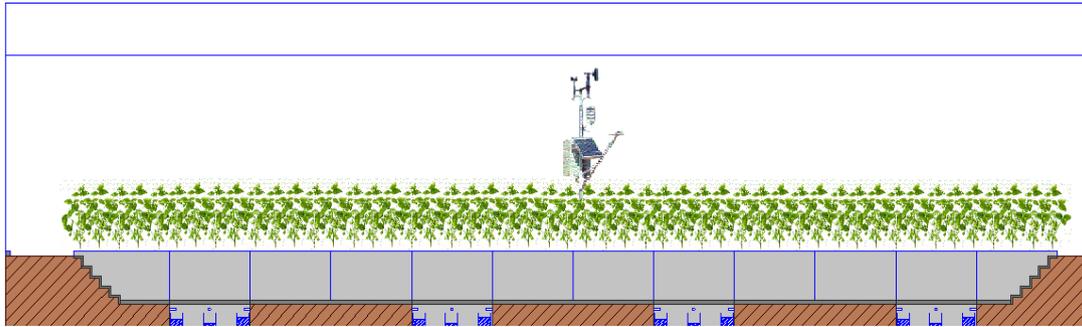
Foi construída uma casa de vegetação, equipada com 44 lisímetros de drenagem de 1.1m de largura por 1,3m de comprimento e 0,75m de profundidade. Os detalhes de como foram montados os lisímetros de drenagem podem ser visualizados nas Figuras 1 e 2.

O delineamento foi em blocos casualizados com 11 tratamentos e 4 repetições, totalizando 44 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. A análise estatística foi realizada através do software SAS versão 9.2.

A acomodação do solo nos lisímetros seguiu um processo de camadas dos horizontes do solo bem como de densidade, buscando sempre aproximar o máximo possível da condição de campo. Para isso o solo foi cuidadosamente retirado em camadas de 10 em 10 centímetros 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 10 cm nas caixas, utilizando um compactador graduado.



**Figura 1.** Corte transversal da casa de vegetação.



**Figura 2.** Corte longitudinal da casa de vegetação

Foram definidos quatro subperíodos da cultura, adaptado da metodologia apresentada por Fehr e Caviness (1977), sendo que a aplicação dos tratamentos iniciou-se no estágio V2 para garantir o estabelecimento inicial das plantas em todas as parcelas: Subperíodo 1 ou S1 – Desenvolvimento Vegetativo (V2 a V12); Subperíodo 2 ou S2 – Floração à Início da Frutificação (R1 a R3); Subperíodo 3 ou S3 – Completa Formação de Vagens à Formação da Produção (R4 a R6) e Subperíodo 4 ou S4 – Maturação (R7 a R8).

Os tratamentos constaram de 3 lâminas de irrigação: Déficit (50% da ETc); Excesso (150% da ETc) e Irrigação Plena (100% da ETc) variando em 11 diferentes formas de ocorrência. Todos os tratamentos recebiam irrigação plena, exceto quando estavam no período de aplicação do respectivo tratamento. Os tratamentos foram: Déficit no ciclo total (DCT), Déficit no S1 (DS1), Déficit no S2 (DS2), Déficit no S3 (DS3), Déficit no S4 (DS4), Excesso no ciclo total (ECT), Excesso no S1 (ES1), Excesso no S2 (ES2), Excesso no S3 (ES3), Excesso no S4 (ES4), Irrigação Plena (IP) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição detalhada dos tratamentos

Descrição	Nº	Código	Significado
Testemunha	1	IP	Irrigação plena nos 4 subperíodos
Déficit	2	DS1	Com déficit apenas no subperíodo 1
Déficit	3	DS2	Com déficit apenas no subperíodo 2
Déficit	4	DS3	Com déficit apenas no subperíodo 3
Déficit	5	DS4	Com déficit apenas no subperíodo 4
Déficit	6	DCT	Com déficit nos 4 subperíodos
Excesso	7	ES1	Com excesso apenas no subperíodo 1
Excesso	8	ES2	Com excesso apenas no subperíodo 2
Excesso	9	ES3	Com excesso apenas no subperíodo 3
Excesso	10	ES4	Com excesso apenas no subperíodo 4
Excesso	11	ECT	Com excesso nos 4 subperíodos

### Manejo da irrigação

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), utilizando dados de uma estação meteorológica automática da marca Campbell Scientific. Devido as condições internas à casa de vegetação, de radiação, temperatura, umidade e velocidade do vento, serem diferentes das condições externas, a

estação foi instalada no interior da casa de vegetação, para estimar a ETo mais próxima às condições em que as plantas se encontravam.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

em que:

ETo - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

## ESTRESSE HÍDRICO EM DIFERENTES FASES DA CULTURA DA SOJA

Rn - saldo de radiação à superfície, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

G - fluxo de calor sensível no solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, °C;

U2 - velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

es - pressão de saturação de vapor, kPa;

ea - pressão atual de vapor, kPa;

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de saturação, kPa °C<sup>-1</sup>;

$\gamma$  - constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

Os coeficientes de cultivo e a profundidade do sistema radicular de cada subperíodo (Tabela 2) serão definidos conforme recomendações, respectivamente, de Doorenbos e Kassam (1994) e Mantovani, Costa e Leal (1997).

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

Subperíodos	Kc (-)	Pe (m)
S a V2 (Emergência à 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: FAO Irrigation Paper 56

Embora o sistema de irrigação mais utilizado para soja seja Pivô Central, em nível experimental para permitir a precisão com relação à lâmina aplicada, cada parcela foi irrigada individualmente por um sistema de gotejadores auto-compensantes da marca NAAN modelo CPC 20 mm - 0,9 L h<sup>-1</sup> - 30 cm. Cada lisímetro recebeu três linhas com quatro gotejadores de vazão de 0,9 L h<sup>-1</sup>, totalizando 12 gotejadores à uma vazão de 10,8 L h<sup>-1</sup> por parcela (Figura 3).

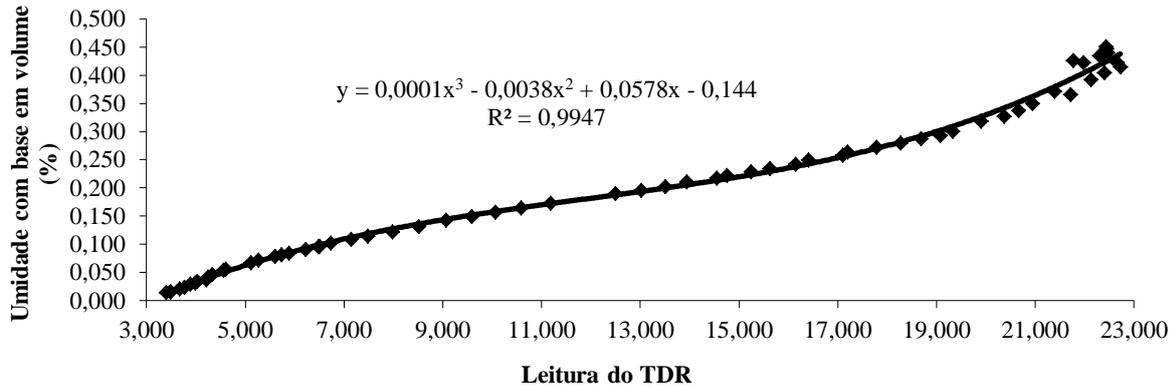


**Figura 3.** Válvulas solenóides individuais

O sistema foi alimentado por uma bomba KSB P500 com vazão máxima 2400 L h<sup>-1</sup>. Todo o sistema foi automatizado utilizando válvulas solenóides de baixo custo controladas por timers da marca COEL.

Embora o manejo da irrigação tenha sido via dados meteorológicos, para se obter uma maior precisão, a umidade do solo ainda foi monitorada utilizando o equipamento Time-Domain Reflectometer (TDR) modelo TDR 100 da Campbell Scientific, através de sondas instaladas em cada parcela em 3 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. Foram feitas leituras diárias durante três meses deixando a coluna de solo perder umidade naturalmente. Os dados de conteúdo de água foram correlacionados com umidade volumétrica para obtenção da curva de calibração (Figura 4).



**Figura 4.** Curva de calibração do TDR

Os parâmetros biométricos foram determinados utilizando a média de 20 plantas por parcela, que representavam a linha de plantio do meio, através das seguintes avaliações:

A altura das plantas foi considerada como a máxima distância vertical da planta. Foi determinado por meio de uma trena graduada a distância do solo até o final da última folha da copa no final de cada estágio.

A altura de inserção do primeiro legume é considerada pela máxima distância vertical entre o solo e o primeiro legume mais próximo do solo. Essa é uma avaliação que indica qualidade pois influencia na colheita mecanizada. Quando os legumes estão muito próximos do solo podem ser perdidos no momento da colheita. Essa medida foi

determinada por meio de trena graduada no final do ciclo da cultura.

Embora o número de plantas fosse mantido o mesmo no início do experimento, alguns tratamentos resultaram em morte de algumas plantas. Por isso foi feita a contagem manual.

O número de legumes por planta foi contabilizado através de contagem manual, sendo distinguidos legumes saudáveis, abortados e parcialmente abortados, por meio de análise qualitativa.

O número de grãos por legume foi contabilizado através de contagem manual, sendo distinguidos grãos saudáveis, e grãos abortados por meio de análise qualitativa. Na Figura 5 são mostradas algumas situações de abortamento que ocorrem e como foram analisadas.



**Figura 5.** Análise qualitativa para determinação de abortamento de grãos

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 era feita uma análise

## ESTRESSE HÍDRICO EM DIFERENTES FASES DA CULTURA DA SOJA

qualitativa de grãos abortados. Assim obteve-se o percentual de abortamento através da equação:

$$Abort = \frac{Na}{Nc} * 100$$

em que:

Abort – Quantidade de grãos que sofreram abortamento, %;

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

Nc – Número total de cavidades dos legumes, adm.

Foi feita a pesagem da amostra total de grãos após secagem em estufa à 65°C e, em seguida, calculado o peso de 100 grãos que é uma das variáveis resposta que indica qualidade da soja.

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 eram 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.

$$Vg = \frac{Vf - Vi}{Ng}$$

em que:

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.

Com esses valores utilizou-se a equação do volume da esfera rearranjando os fatores para chegar ao diâmetro do grão.

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

em que:

D – Diâmetro dos grãos, mm; (2)

Vg – Volume de grãos, mm.

Foi realizada a colheita manual e a pesagem da matéria seca dos grãos. Foi feito ainda a adição de 13% de massa, considerando a umidade média do grão na colheita, umidade essa na qual o grão é comercializado. Os dados obtidos foram referentes a colheita da linha central de plantio em cada lisímetro.

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

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

em que:

P – Produtividade, Kg ha<sup>-1</sup>;

LL – Comprimento da linha amostrada, m;

Ep – Espaçamento entre linhas, m;

Ma – Massa da amostra, Kg.

A equação acima pode ser simplificada, mas como o espaçamento e o comprimento das linhas amostradas podem variar optou-se por deixá-la nesse formato para facilitar o entendimento das transformações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os dados da análise estatística das 8 variáveis estudadas, com seus respectivos coeficientes de variação e resultados do teste F de Fisher-Snedecor. Médias com letras diferentes na vertical indicam diferença significativas entre os tratamentos.

**Tabela 3.** Análise de variância das variáveis, Altura de Inserção do Primeiro Legume, Altura Total de Plantas, Número de Vagens por Planta e Números de Grãos por Planta.

Tratamentos	Altura de Inserção do Primeiro Legume <sup>(1)</sup> (cm)	Altura Total de Plantas <sup>(1)</sup> (cm)	Número de Vagens por Planta <sup>(1)</sup>	Número de Grãos por Planta <sup>(1)</sup>
IP	32,1 <sup>ab</sup>	111,6 <sup>ab</sup>	29,7 <sup>ab</sup>	63,9 <sup>a</sup>
DS1	28,6 <sup>b</sup>	111,6 <sup>ab</sup>	25,4 <sup>bc</sup>	50,4 <sup>ab</sup>
DS2	32,5 <sup>ab</sup>	111,5 <sup>ab</sup>	24,9 <sup>bc</sup>	52,2 <sup>ab</sup>
DS3	33,9 <sup>ab</sup>	110,2 <sup>ab</sup>	25,6 <sup>ab</sup>	48,3 <sup>ab</sup>
DS4	37,1 <sup>a</sup>	116,7 <sup>ab</sup>	28,7 <sup>ab</sup>	59,5 <sup>a</sup>
DCT	35,5 <sup>ab</sup>	104,8 <sup>b</sup>	22,7 <sup>c</sup>	41,0 <sup>b</sup>
ES1	34,7 <sup>ab</sup>	126,5 <sup>a</sup>	30,8 <sup>a</sup>	64,8 <sup>a</sup>
ES2	31,8 <sup>ab</sup>	123,6 <sup>ab</sup>	30,7 <sup>a</sup>	63,9 <sup>a</sup>
ES3	33,4 <sup>ab</sup>	111,4 <sup>ab</sup>	28,1 <sup>ab</sup>	59,3 <sup>a</sup>
ES4	33,7 <sup>ab</sup>	116,8 <sup>ab</sup>	30,6 <sup>a</sup>	63,5 <sup>a</sup>
ECT	33,9 <sup>ab</sup>	115,7 <sup>ab</sup>	28,8 <sup>ab</sup>	62,1 <sup>a</sup>
Teste F	2,33*	2,33*	4,13**	4,88**
CV(%)	10,07	8,02	13,31	17,78

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si a 0,05% de probabilidade pelo teste de Tukey; \*Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F; \*\*Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo; CV Coeficiente de Variação.

**Tabela 4.** Análise de variância das variáveis, Abortamento, Diâmetro de Grãos, Peso de 100 Grãos e Produtividade.

Tratamentos	Abortamento <sup>(1)</sup> (%)	Diâmetro de Grãos <sup>(1)</sup> (mm)	Peso de 100 Grãos <sup>(1)</sup> (g)	Produtividade <sup>(1)</sup> (Kg ha <sup>-1</sup> )
IP	20,5	6,0 <sup>a</sup>	12,4 <sup>abc</sup>	2783,0 <sup>a</sup>
DS1	21,6	6,2 <sup>a</sup>	13,4 <sup>a</sup>	2399,2 <sup>ab</sup>
DS2	19,7	6,2 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>	2530,3 <sup>ab</sup>
DS3	29,2	5,6 <sup>a</sup>	9,8 <sup>c</sup>	1728,4 <sup>b</sup>
DS4	23,7	6,0 <sup>a</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	2735,9 <sup>a</sup>
DCT	22,4	5,5 <sup>a</sup>	10,0 <sup>bc</sup>	1715,3 <sup>b</sup>
ES1	22,3	6,1 <sup>a</sup>	12,7 <sup>abc</sup>	2991,6 <sup>a</sup>
ES2	22,5	6,1 <sup>a</sup>	12,9 <sup>abc</sup>	2875,1 <sup>a</sup>
ES3	24,1	6,0 <sup>a</sup>	12,5 <sup>abc</sup>	2646,8 <sup>ab</sup>
ES4	22,8	6,2 <sup>a</sup>	13,4 <sup>a</sup>	2868,5 <sup>a</sup>
ECT	21,6	6,0 <sup>a</sup>	12,4 <sup>abc</sup>	2857,4 <sup>a</sup>
Teste F	0,91 <sup>ns</sup>	2,67*	3,74**	5,38**
CV(%)	22,10	5,44	10,96	22,03

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si a 0,05% de probabilidade pelo teste de Tukey; \*Significativo a 0,05% de probabilidade pelo teste F; \*\*Significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>Não significativo; CV Coeficiente de Variação.

Na Figura 6 são apresentados os gráficos da análise quantitativa e qualitativa de cada variável individualmente. É possível verificar que a ocorrência de déficit prejudicou a altura total das plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta, o peso de 100 grãos, afetando diretamente na produtividade (Figura 6H).

Resultado semelhante foi encontrado por Atti et al. (2005) que concluíram que déficit hídrico do solo afetou negativamente o crescimento e a produtividade da soja em

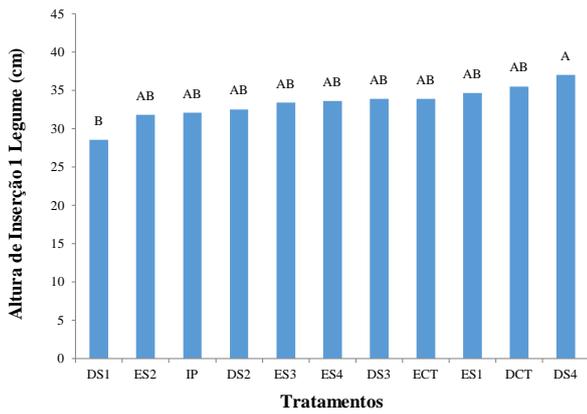
ambos os níveis de estresse hídrico testados (25 e 50%, de reposição da ETc).

Verificou-se que a porcentagem de abortamento e o diâmetro de grãos não sofreram influência significativa pelo estresse hídrico em relação a irrigação plena (Figura 6E e 6F).

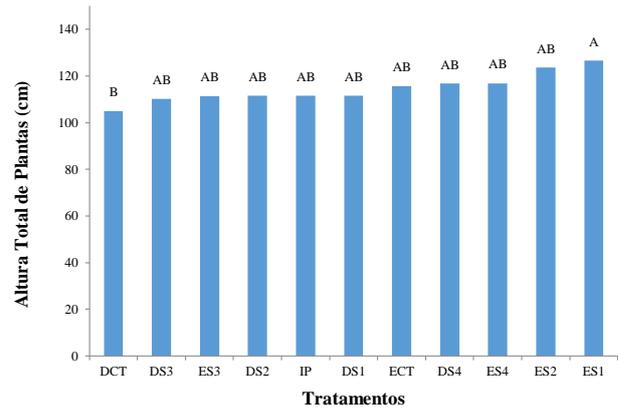
Em relação à altura de inserção do primeiro legume, variável qualitativa que pode representar perdas no momento da colheita, o déficit aplicado no estágio inicial foi prejudicial (Figura 6A).

ESTRESSE HÍDRICO EM DIFERENTES FASES DA CULTURA DA SOJA

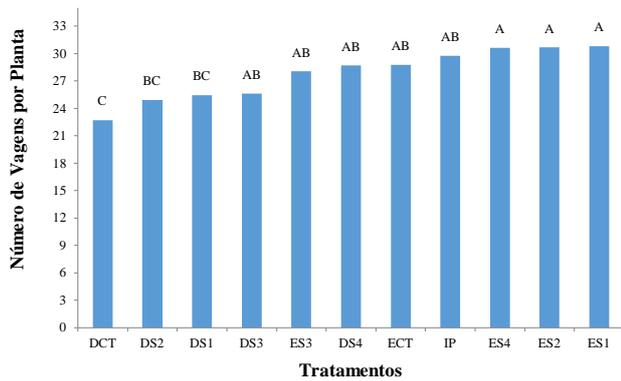
A.



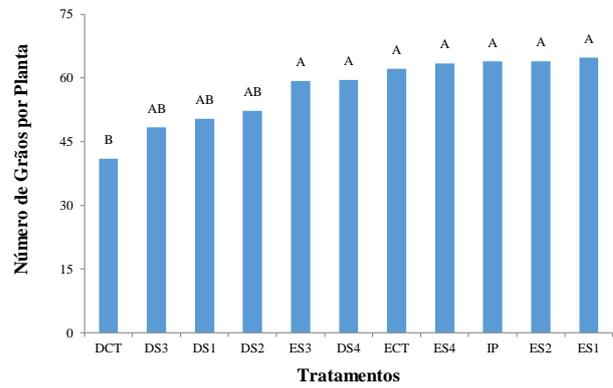
B.



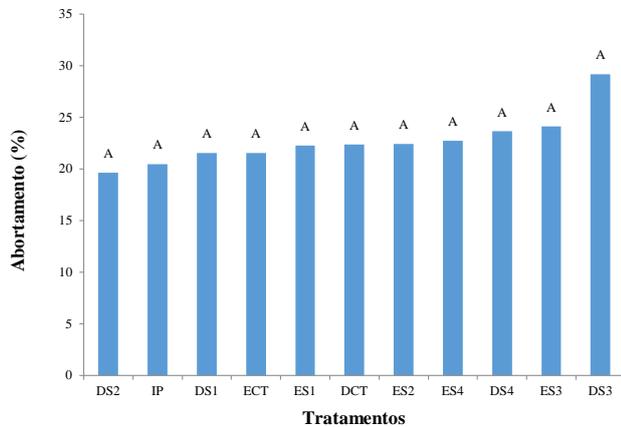
C.



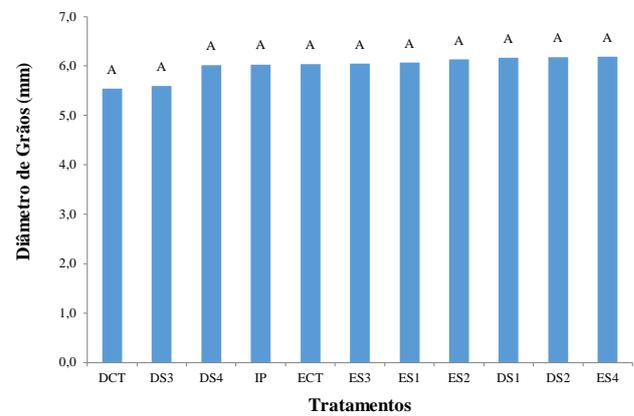
D.



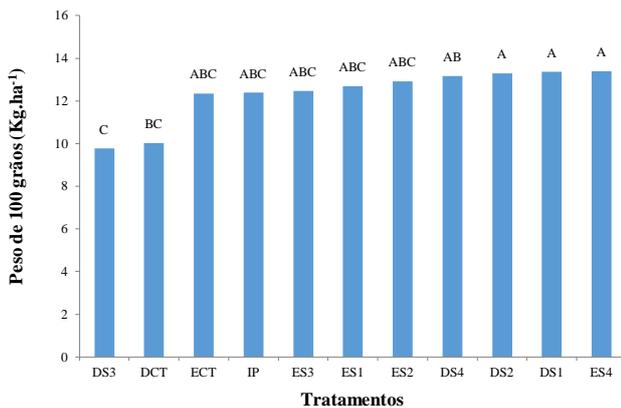
E.



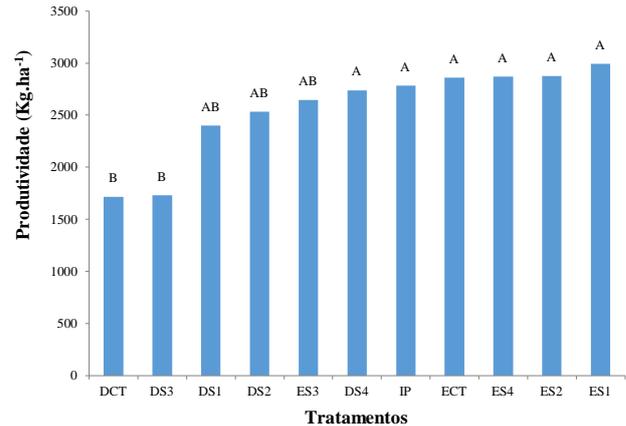
F.



G.



H.



**Figura 6** – Resultados da análise estatística

O excesso não foi prejudicial, mostrando que para o tipo de solo utilizado, pode-se aplicar lâminas de 150% da ETc, sem causar danos por estresse nas plantas. Porém Manosso (2005) constatou que as chuvas, ora criando excedentes hídricos, ora tornando os solos deficientes em água, influem diretamente sobre a dinâmica do rendimento anual das safras agrícolas, inclusive podendo representar uma perda de 47% em relação à produtividade média da soja, 59% do milho e 50% do trigo.

O déficit hídrico no ciclo total (DCT) afetou negativamente a maioria das variáveis, porém, quando aplicado apenas em subperíodos, o déficit não afetou significativamente as variáveis comparado à testemunha (IP), exceto na produtividade, onde o déficit aplicado no momento do enchimento de grãos (DS3) foi tão danoso quanto aplicado no ciclo total da cultura. Segundo Confalone e Navaro (1999) a deficiência hídrica na soja provoca a diminuição do índice de área foliar (IAF), o que afeta a captura de radiação. Quando é exposta a estresse hídrico leve, a soja tende a maximizar a eficiência de utilização da radiação e a diminuir a eficiência de interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA). O déficit hídrico severo, no entanto, reduz a eficiência de utilização da radiação. O "déficit" hídrico produz um efeito diferencial sobre o crescimento e produção de biomassa na cultura

da soja, segundo o momento e a severidade do estresse.

## CONCLUSÕES

O Déficit hídrico causou redução na produtividade quando aplicadas no ciclo total da cultura.

A ocorrência de déficit apenas no enchimento de grãos representa o mesmo risco de perdas em relação à ocorrência no ciclo total.

O Excesso não representou estresse para as plantas para o tipo de solo utilizado.

Pode-se utilizar déficits de até 50% da ETc nas fases vegetativas, de floração e maturação, sem afetar a produtividade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a 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 BIBLIOGRÁFICAS

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

ATTI, S.; BONNELL, R.; PRASHER, S.; SMITH, D.L. Response of soybean {Glycinemax (L.) Merr.} under chronic water deficit to lco application during flowering and pod fillingy. **Irrigation and Drainage**, v.54, p.15-30, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra 2015/2016**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_10\\_16\\_10\\_52\\_19\\_safras\\_outu\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_10_16_10_52_19_safras_outu_2015.pdf)> Acesso em: 18 out. 2015

CONFALONE, A.; NAVARO, M.D. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5, n.3, p.195-198, 1999

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS (USDA). **A produção mundial de soja na safra 2008/2009**. Disponível em : <<http://www.usdabrazil.org.br/home/>>. Acesso em: 20 nov. 2010

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB/FAO, 1994. 306p. FAO. Estudos: Irrigação e Drenagem, 33

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. Special Report, 80

FLUMIGNAN, D.L., ALMEIDA, A.C.S., GARCIA, R.A., 2015. **Necessidade de Irrigação Complementar da Soja na Região Sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 34).

MANOSSO, F.C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. **Geografia**, Londrina, v.14, n.1, jan./jun. 2005

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.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). **Relatórios** Disponível em : <<https://www.fao.org.br/ultimosRelatoriosFao.asp>>. Acesso em: 10 out. 2010

SAAD, A.M. **O déficit de irrigação como estratégia de manejo da água em feijoeiro**. 1996. 147f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, Piracicaba, SP.