

SENSIBILIDADE DE PLANTAS DE SOJA AO REBAIXAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO

Jocelito Saccol de Sá; Décio Eugênio Cruciani; Sérgio Nascimento Duarte; José Roberto Brito Pereira

Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, jssa@esalq.usp.br.

1. RESUMO

A diversificação de culturas em terras baixas é de grande interesse em diversas regiões produtoras de arroz, no Brasil e no exterior. O cultivo de soja é uma opção economicamente viável para a ocupação dessas áreas em rotação e/ou em sucessão à orizicultura. Este trabalho foi realizado em casa de vegetação localizada em uma área experimental da ESALQ/USP, Piracicaba – SP, com o objetivo de avaliar os efeitos de rebaixamentos sucessivos do nível freático (NF) no desenvolvimento e na produtividade de plantas de soja, cv. BR-16, e identificar o estágio de desenvolvimento da cultura com maior sensibilidade à inundação do solo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (2x5) com um tratamento adicional (testemunha), sendo os fatores estudados: período de desenvolvimento da cultura durante a inundação do solo (estádios V8 e R4) e rebaixamento do NF (10, 20, 30, 40 e 60 cm dia⁻¹). As plantas de soja apresentaram maior suscetibilidade à inundação do solo durante o período vegetativo. As taxas de rebaixamento do NF influenciaram o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura. O aumento da velocidade de drenagem reduziu os danos ocasionados às plantas pelo excesso de água no solo, principalmente no estágio menos tolerante a essa condição.

UNITERMOS: inundação, coeficiente de drenagem.

SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; DUARTE, S. N. E PEREIRA, J. R. B. SENSITIVITY OF SOYBEAN PLANTS TO WATER TABLE DRAWDOWN

2 ABSTRACT

Agricultural diversification in low lands is very important in several Brazilian regions and countries, especially in irrigated rice lands. Soybean is a viable economic option for low lands. This study was carried out in an experimental area at ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo – Brazil. The objectives were to estimate the effects of water table drawdown in the growth and crop yield of soybean cv. BR-16 and to identify the most sensitive crop stages to soil water logging. The statistical experimental design was a completely randomized one with factorial arrangement (2x5) one additional treatment (control) and four replications. The study was done in the V8 e R4 crop stages. The water table was lowered 10, 20, 30, 40 and 60cm per day, from initial level. Control plants where only irrigated without flooding. The soybean plants showed highest susceptibility to soil water logging in the vegetative stage. The water table drawdown rates influenced the development and productivity of soybean plants. The drainage rate increase

reduced the damage caused to the plants by the water excess in the soil, mainly in the less tolerant stage.

KEYWORDS: flooding, drainage coefficient.

3 INTRODUÇÃO

A diversificação de culturas em terras baixas é de grande interesse em diversas regiões produtoras de arroz, no Brasil e no exterior. Dentre as culturas aptas ao cultivo em solos hidromórficos, a soja tem-se destacado como uma opção economicamente viável, em rotação e/ou, em sucessão ao arroz irrigado. Porém, as culturas mesófitas exigem um equilíbrio entre a aeração e a umidade do solo, condição muitas vezes não atingida em terras baixas, devido às variações extremas de umidade ocasionadas por fatores concorrentes tais como: excesso de chuvas, drenagem natural deficiente, flutuações e ascensões do lençol freático no perfil do solo.

O excesso de umidade do solo interfere negativamente na disponibilidade de oxigênio para as plantas, resultando em baixa produção de trifosfato de adenosina (ATP), na redução do potencial de oxi-redução do solo e no aumento da concentração de substâncias fitotóxicas como dióxido de carbono, etileno, ferro reduzido, metano, sulfetos e outros compostos (DENNIS et al., 2000).

Em resposta às modificações decorrentes da deficiência de O₂ e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, a planta apresenta uma série de sintomas que afetam severamente o desenvolvimento e a produtividade. Dentre estes sintomas, o murchamento das folhas é frequentemente o primeiro a ser notado, especialmente se o estresse é imposto rapidamente e em condições atmosféricas favoráveis à transpiração (KAWASE, 1981).

O aumento da concentração de substâncias tóxicas, principalmente de etileno, pode induzir em certas espécies de plantas sob encharcamento, o crescimento de raízes adventícias, a produção de aerênquima, a hipertrofia dos caules e a epinastia foliar (VOESENEK et al., 1992). Segundo Bradford e Yang (1981), as alterações morfo-anatômicas observadas em plantas submetidas à inundação do solo, podem ser consideradas mecanismos de adaptação das plantas à saturação, permitindo também a identificação de plantas tolerantes a estas condições.

Existe uma certa unanimidade entre pesquisadores a respeito da alta resistência da soja ao excesso de umidade do solo e da rápida recuperação após término da inundação (GASTAL, 2000). Trabalhos desenvolvidos na Austrália têm mostrado que a soja apresenta uma auto-adaptação ao ambiente de solo saturado, manifestando taxas de crescimento e produção maiores que do sob condição de umidade e de aeração ideais (TROEDSON et al., 1989).

Assim como em outras espécies, a tolerância da soja ao encharcamento do solo é muito variável, existindo diferenças entre cultivares (VAN TOAI et al., 1994) e entre estádios de desenvolvimento (SALLAM e SCOTT, 1987; SUGIMOTO et al., 2000). Porém, na literatura, há poucas informações sobre o efeito da inundação do solo em leguminosas, principalmente em condições tropicais, onde a temperatura torna-se um importante diferencial à sensibilidade das plantas ao excesso de água no solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de rebaixamentos sucessivos do nível freático no desenvolvimento e na produtividade da soja, cultivar BR-16, e identificar o estágio de desenvolvimento com maior sensibilidade à inundação temporária do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os efeitos do rebaixamento do nível freático sobre desenvolvimento e a produtividade da cultura de soja, iniciou-se em dezembro de 2001 um experimento em casa de vegetação instalada na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba – SP, situado a 22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 540 m de altitude. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, tropical de altitude, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22°C.

A cultura foi implantada em unidades experimentais constituídas por tubos de concreto de 0,40 m de diâmetro interno e 1,20 m de altura, dispostos no interior da casa de vegetação em quatro colunas com quinze unidades cada. Os tubos foram totalmente impermeabilizados a fim de evitar a infiltração de água durante os tratamentos.

As unidades experimentais foram preenchidas com Latossolo Vermelho, série Sertãozinho, fase arenosa, retirado de seu perfil natural na profundidade de 0-20 cm e posteriormente peneirado e homogeneizado. As características físico-hídricas do solo são apresentadas na Tabela 1. Quimicamente o solo coletado apresentou as seguintes características: pH (CaCl₂) 4,6; M.O. (g dm⁻³) 11,0; P(mg dm⁻³) 1,0; K (mmol_c dm⁻³) 0,5; Ca (mmol_c dm⁻³) 8,0; Mg (mmol_c dm⁻³) 1,0; H+Al (mmol_c dm⁻³) 34,0.

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo coletado na camada de 0-30 cm no interior das unidades experimentais.

* θ_s	θ_{cc} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{pmp}	ρ (kg m ⁻³)	ε (%)	α	Areia	Argila (%)	Silte
0,51	0,27	0,15	1280	51	23	70	22	8

* θ_s – umidade de saturação do solo; * θ_{cc} – umidade do solo na capacidade de campo; * θ_{pmp} – umidade do solo no ponto de murcha permanente; ρ – densidade do solo; ε – porosidade do solo e α – porosidade drenável.

A cultivar de soja utilizada foi a BR-16 que é a recomendada para as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Essa cultivar apresenta um ciclo de desenvolvimento precoce (120 dias) e crescimento determinado. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fungicidas e inoculadas com inoculante turfoso na dose de 0,60 kg por 40 kg de sementes. Foram semeadas quatro sementes por unidade experimental a uma profundidade de 3 cm aproximadamente. O desbaste foi realizado no vigésimo dia após a emergência (20 DAE), permanecendo uma plântula por unidade experimental.

Para o pleno desenvolvimento da cultura foi necessária a correção do pH do solo, por meio da aplicação de 2 g de calcário dolomítico e de 1 kg de compostagem de estrume e de restos culturais de cana-de-açúcar, incorporados durante o preenchimento das unidades experimentais. Adicionou-se, também, 90 g de superfosfato simples, em uma única aplicação, 15 g de cloreto de potássio, 380 mg de sulfato de manganês, 120 mg de ácido bórico, 50 mg de sulfato de cobre e 1 g de sulfato de zinco.

Visando o estudo dos efeitos causados pelos rebaixamentos do nível freático (NF), adotou-se a metodologia utilizada por Cruciani (1985), com modificações. Basicamente, a metodologia consiste em promover, em determinados estádios de desenvolvimento da cultura, a elevação do NF acima da superfície do solo por um período (horas ou dias) seguido do rebaixamento imediato do NF. Neste trabalho, as plantas de soja foram submetidas ao estresse por excesso de água no solo por um período de seis horas aplicado em dois estádios de desenvolvimento da cultura e posteriormente, ao rebaixamento progressivo do NF.

Desse modo, os fatores estudados referem-se ao período de desenvolvimento da cultura no momento da inundação do solo (vegetativo e reprodutivo) e às velocidades de

rebaixamento do NF (10, 20, 30, 40 e 60 cm dia⁻¹). Assim, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial (2x5), além de um tratamento adicional (testemunha), totalizando 11 tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos foram sorteados aleatoriamente nas parcelas já instaladas no interior da casa de vegetação. As plantas que constituíam o tratamento testemunha não foram submetidas ao encharcamento do solo.

No período de desenvolvimento vegetativo da cultura, a inundação do solo foi efetuada aos 40 DAE. Nesse período as plantas apresentavam oito nós e folhas trifoliadas completamente desenvolvidas, características que correspondem ao estágio de desenvolvimento V8 de acordo com escala fenológica de Fehr e Caviness (1977). No estágio reprodutivo, a saturação total do solo ocorreu aos 63 DAE, quando as plantas apresentavam vagens com 20 a 40 mm de comprimento em um dos quatros últimos nós superiores (estádio R4).

A elevação e o rebaixamento do NF foram realizados por meio de reservatórios cilíndricos de PVC de 300 mm de diâmetro e volume de 30 L, providos com chave bóia, assentados em suportes metálicos fixados por parafusos acoplados em caibros localizados ao lado de cada unidade experimental. Esse conjunto permitiu o manejo do NF de acordo com os tratamentos estabelecidos e também o controle e a estabilidade do NF no interior das unidades experimentais. Para distribuir a água para as unidades experimentais foram utilizados tubos de PVC de 12,5 mm de diâmetro e dois reservatórios de cimento amianto com volume de 1000 L. A Figura 1, ilustra o esquema utilizado para inundar as unidades experimentais.

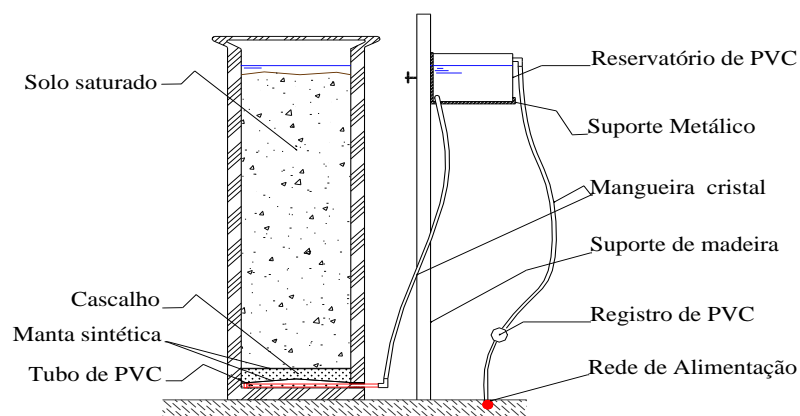


Figura 1. Representação dos elementos utilizados para realizar a inundação das unidades experimentais.

A drenagem e a admissão de água no interior das unidades experimentais se davam por meio de tubos de PVC de 12,5 mm de diâmetro e 0,60m de comprimento com furos de 10mm de diâmetro em seu perímetro, instalados horizontalmente na base das unidades experimentais.

A profundidade do NF no interior das unidades era monitorada diariamente por meio de uma sonda de profundidade introduzida em poços de observação confeccionados em cada unidade experimental. A drenagem total das unidades era realizada quando o NF encontrava-se na profundidade de 0,90 m.

Durante a condução do experimento, exceto durante os tratamentos, as plantas foram submetidas à irrigação sempre que o potencial da água no solo atingia o valor aproximado de $-0,05\text{Mpa}$, obtido pela média das leituras de 22 tensiômetros instalados aleatoriamente entre as unidades experimentais a 0,30 m de profundidade. O sistema de irrigação era composto por gotejadores do tipo botão com vazão nominal de $3,0\text{ L h}^{-1}$ inseridos em tubos de polietileno de

12 mm de diâmetro. A lâmina de água aplicada em cada irrigação era determinada pela equação 1.

$$L = (\theta_{cc} - \theta_a) Z \quad (1)$$

em que:

L = Lâmina de água aplicada durante a irrigação, em mm;

θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_a = umidade do solo à tensão de $-0,05 \text{MPa}$ ($0,23 \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); e,

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, considerada de 0,30 m.

Para analisar os efeitos do rebaixamento do NF, quantificou-se a altura e a massa seca da parte aérea das plantas, o número de vagens produzidas e a massa total dos grãos. A altura de planta foi considerada pela distância compreendida entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha no caule principal, sendo tomada por ocasião da colheita, o que ocorreu aos 115 DAE. A massa seca da parte aérea das plantas foi determinada pela pesagem de folhas, caule e ramos, após secagem complementar em estufa com circulação forçada de ar a $60-65^\circ\text{C}$, até peso constante. Para a avaliação da produtividade, fez-se à padronização da umidade dos grãos de 13% para os tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vinte e quatro horas após a inundação do solo, realizada no período vegetativo da soja (V8), foram observados sinais característicos das plantas à deficiência de oxigênio como o murchamento e amarelecimento das folhas. Esses sintomas foram verificados principalmente nas folhas inferiores e mais velhas, sendo mais evidentes em plantas submetidas ao rebaixamento de 10, 20 e 30 cm dia^{-1} do NF do que em plantas submetidas ao rebaixamento do NF de 40 e 60 cm dia^{-1} .

Após 48 horas do início dos tratamentos, as plantas submetidas ao rebaixamento de 10 e 20 cm dia^{-1} apresentaram severa clorose das folhas, sintoma já observado em soja por GRIFFIN e SAXTON (1988) e em feijão por CALHEIROS et al. (2001). A clorose das folhas é muitas vezes associada à deficiência de nutrientes na planta, principalmente de nitrogênio (TROEDSON et al., 1989). Com a continuidade dos tratamentos, as plantas submetidas à taxa de rebaixamento do NF em 10 e 20 cm dia^{-1} , apresentaram acentuada queda de folhas e floresceram durante o tratamento, ao contrário das demais que floresceram juntamente com as plantas não inundadas, o que ocorreu aos 49 DAE, quando apresentavam dez nós. Segundo Câmara e Heiffig (2000), a indução do florescimento pode ser causada pela submissão da planta à alguma forma de estresse como o excesso ou déficit de água no solo.

Com a suspensão dos tratamentos, as plantas afetadas pelo excesso de água no solo e submetidas ao rebaixamento de 30 cm dia^{-1} recuperaram-se rapidamente, fato não observado nas plantas submetidas às taxas de rebaixamento de 10 e 20 cm dia^{-1} . Neste caso, o rebaixamento do NF em 30 cm dia^{-1} foi suficiente para promover uma adequada aeração do solo, permitindo a recuperação das plantas e a retomada do crescimento vegetativo. Resultados semelhantes foram verificados em plantas de soja e milho por Andrade e Reis (1992).

A aplicação dos tratamentos durante o período reprodutivo da cultura, estágio R4, também ocasionou o murchamento e o amarelecimento foliar, principalmente, de folhas de plantas submetidas ao rebaixamento do NF em 10 cm dia^{-1} . Porém, verificou-se a recuperação das mesmas após o término dos tratamentos.

Além sintomas característicos da deficiência de oxigênio no solo ocasionada pelos tratamentos, ocorreram também efeitos deletérios dos mesmos no desenvolvimento e na produtividade das plantas de soja. Foram observadas reduções significativas na massa seca da

parte aérea, no número de vagens e na massa total de grãos de plantas submetidas à inundação do solo em relação ao tratamento testemunha (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros biométricos de plantas de soja submetidas à inundação do solo durante os estádios de desenvolvimento V8 e R4.

Estádios	Massa seca da parte aérea (g)	Altura média das plantas (cm)	Número de vagens	Massa total de grãos (g)
V8	28,7 b	43,7 b	93,2 b	27,4 b
R4	38,7 a	45,7 a	136,1 a	45,2 a
Testemunha x Fatorial	40,6**	51,5**	154,2**	46,8**
CV (%)	6,7	7,8	9,8	6,3

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Em relação à massa seca da parte aérea, os tratamentos aplicados durante o estágio V8 e R4 ocasionaram reduções de 30 e 5% respectivamente, em relação a massa seca de plantas não inundadas. Provavelmente, os sintomas apresentados durante aplicação dos tratamentos no estágio vegetativo contribuíram para a redução significativa da massa seca aérea em relação à obtida em plantas inundadas durante o estágio R4, como apresentado na Tabela 2.

Segundo Pires et al. (2002), a produção de matéria seca é o principal parâmetro de avaliação do nível de tolerância da soja ao excesso de água no solo. Deste modo, os resultados mostraram uma menor tolerância da soja ao excesso de água no solo durante o período vegetativo. Estas observações concordam com as obtidas por Sallam e Scott (1987), Scott et al. (1989) e Linkemer et al. (1998) e discordam dos obtidos em ervilha por Sá et al. (2004).

Em relação ao rebaixamento do NF, a produção de massa seca da parte aérea das plantas apresentou um comportamento quadrático crescente com o aumento da velocidade de rebaixamento do NF (Figura 2). As menores produções de massa seca foram observadas quando o rebaixamento do NF foi realizado em velocidades inferiores a 40 cm dia⁻¹, após a inundação do solo durante o período vegetativo da cultura. Já no estágio R4, a menor produção de massa seca aérea foi observada em plantas submetidas ao rebaixamento de 10 cm dia⁻¹.

As plantas inundadas durante o estágio V8 apresentaram uma estatura significativamente menor em relação à altura das plantas submetidas ao encharcamento do solo durante o período reprodutivo (Tabela 2). Porém, em ambos os períodos a estatura foi menor do que a verificada em plantas não inundadas. De acordo com Barni (1999), a redução do crescimento de plantas de soja está relacionada ao excesso de Fe no tecido foliar. Porém, não foram observados sintomas ocasionados por toxidez de Fe nas folhas. Segundo Silva (1986), níveis tóxicos de Fe são atingidos em inundações prolongadas do solo, devido à redução dos compostos de Fe e Mn.

A altura média das plantas apresentou uma resposta linear crescente com o aumento da velocidade de rebaixamento do NF. Esse comportamento foi verificado em ambos os estádios de desenvolvimento da cultura submetidos à inundação do solo, como apresentado na Figura 3.

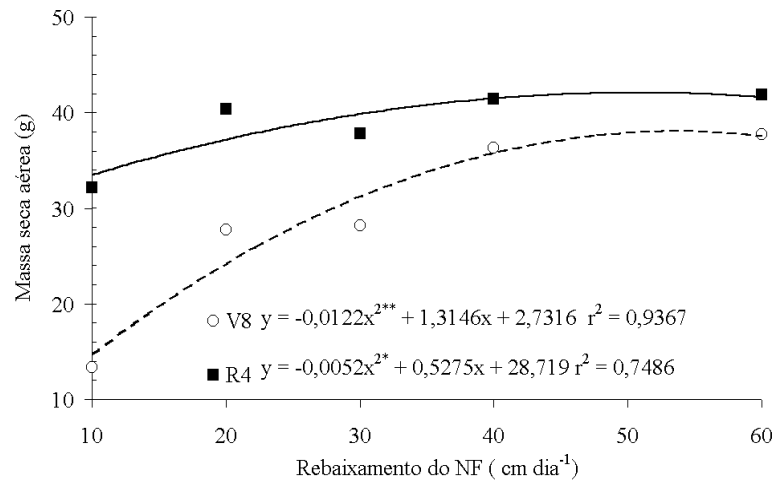


Figura 2. Produção de massa seca da parte aérea de plantas submetidas à inundação do solo nos estádios V8 e R4 e segundo diferentes velocidades de rebaixamento do NF. (** significativo a 1% de probabilidade).

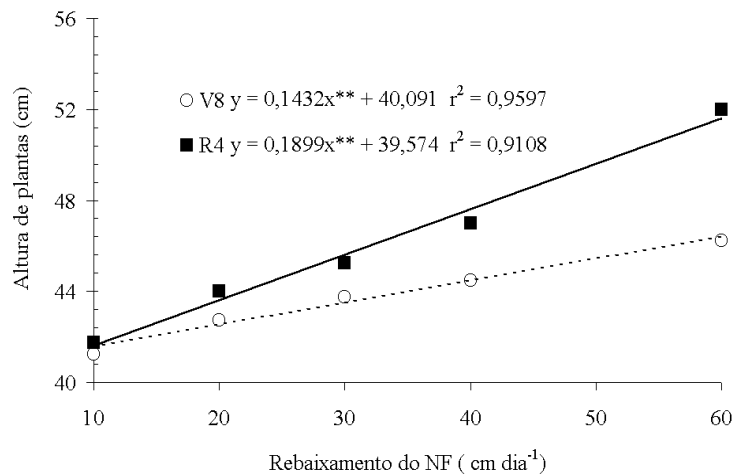


Figura 3. Altura média de plantas de soja submetidas   inunda o temporária do solo durante os estádios V8 e R4 e segundo diferentes velocidades de rebaixamento do NF. (** significativo a 1% de probabilidade).

Além dos efeitos negativos no desenvolvimento das plantas de soja, também foram observadas redu oes significativas no número de vagens e conseqüentemente na produtividade de grãos, principalmente quando a inunda o do solo ocorreu durante o período vegetativo da cultura (Tabela 2). Esta observa o difere de outras, que apontam maiores redu oes na produ o de grãos causadas por inunda oes no est dio reprodutivo da cultura (GRIFFIN e SAXTON, 1988; SCOTT et al., 1989). Entretanto, outros trabalhos têm mostrado resultados semelhantes (SEONG et al., 2000 e SUGIMOTO et al., 2000).

As plantas inundadas durante o est dio vegetativo e submetidas ao rebaixamento do NF em 10 e 20 cm dia⁻¹ produziram em média 25 e 90 vagens por plantas, respectivamente (Figura 4). Nesse caso, a redu o do número de vagens foi de até 83% em rela o   produ o média de vagens no tratamento testemunha (154 vagens). Nos demais níveis de rebaixamento a

produção média foi de 116 vagens por planta, representando uma redução de 25% em relação ao número de vagens produzidos em plantas testemunha.

Quando os tratamentos foram realizados no estágio reprodutivo, o número de vagens por planta variou de 122 a 150, ocasionando reduções de 20 a 3%, quando o rebaixamento do NF foi efetuado em 10 e 60 cm por dia, respectivamente. Neste caso, a produção de vagens de soja variou linearmente com a velocidade de rebaixamento do NF, ao contrário das plantas inundadas no estágio vegetativo, cuja produção de vagens apresentou um comportamento quadrático em relação aos níveis de rebaixamento do NF (Figura 4), sendo a máxima produção de vagens obtida com o rebaixamento do NF em 50 cm dia⁻¹.

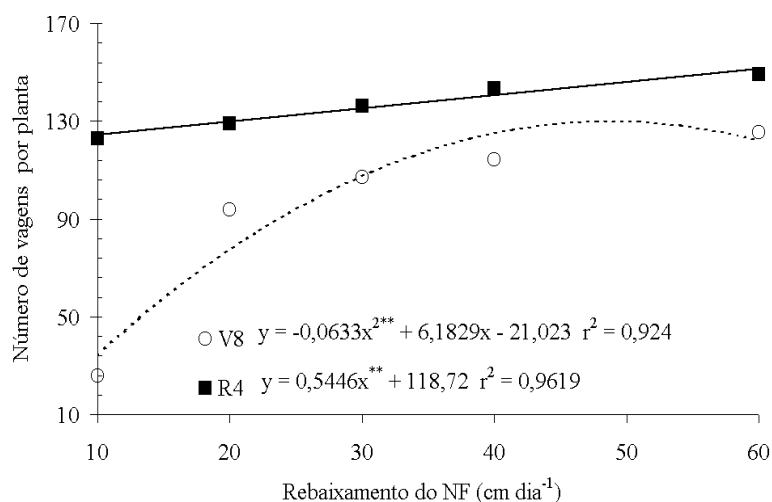


Figura 4. Número de vagens produzidas após inundação do solo durante os estádios V8 e R4 e segundo velocidades de rebaixamento sucessivo do NF. (**significativo a 1% de probabilidade).

O comportamento da massa de grãos foi semelhante ao apresentado pelo número de vagens produzidas em plantas submetidas ao estresse por excesso hídrico (Figura 5).

As plantas submetidas à inundação do solo durante o estágio V8 apresentaram uma massa total de grãos 37% inferior à massa de grãos de plantas não inundadas, diferindo significativamente da massa total de grãos produzida em plantas inundadas durante o estágio reprodutivo (Tabela 2).

Os tratamentos aplicados durante o período vegetativo ocasionaram uma redução drástica da massa total de grãos, principalmente quando o rebaixamento do NF foi efetuado em 10 e 20 cm dia⁻¹ (Figura 5). Nesses tratamentos a massa total de grãos por planta foi de 8,3 e 26,8 g, cerca de 81 e 40% inferiores à massa total de grãos obtida no tratamento testemunha. Porém, a aplicação dos tratamentos durante o estágio reprodutivo resultou em reduções na massa de grãos inferiores a 3%. Nesse caso, a massa de grãos variou linearmente com o aumento da velocidade de rebaixamento do NF, contudo sem apresentar significativos acréscimos. Já os rebaixamentos do NF aplicados durante a inundação do solo no estágio V8, proporcionaram um comportamento quadrático da massa de grãos (Figura 5).

As reduções de produtividade ocasionadas pelo rebaixamento de 10 e 20 cm dia⁻¹ durante o estágio vegetativo, estão relacionadas provavelmente ao florescimento precoce e à redução da massa seca observadas em plantas submetidas a esses tratamentos. Neste caso, verificou-se uma correlação linear positiva entre a massa total de grãos e a massa seca da parte aérea das plantas,

como apresentado na Figura 6. Segundo observações de Wolfe et al. (1988), a redução da massa foliar afeta diretamente a translocação de fotoassimilados reduzindo ainda mais a produtividade das plantas. A submersão temporária do sistema radicular ocasionou decréscimos no número de flores e conseqüentemente o número de nós reprodutivos e de vagens formadas. Resultados semelhantes foram observados em trabalhos com ervilhas (BELFORD et al., 1980) e soja (HEATHERLY e PRINGLE, 1991).

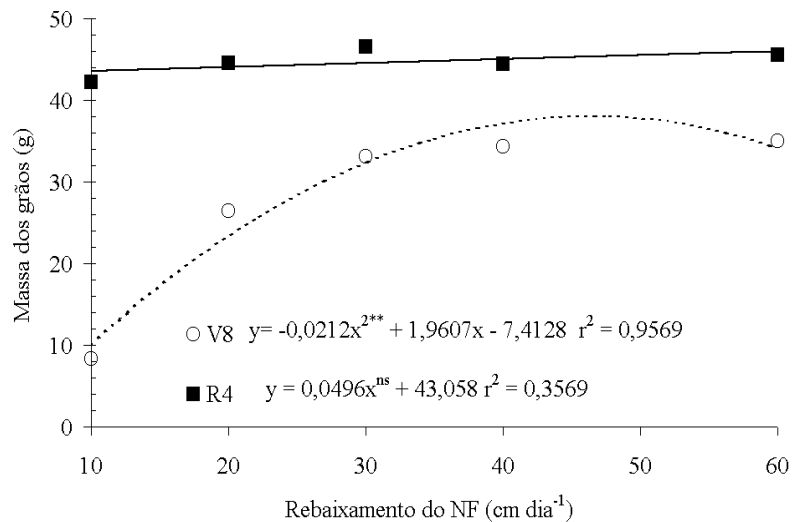


Figura 5. Massa total de grãos obtida em plantas de soja submetidas à inundação do solo durante os estádios V8 e R4 e segundo diferentes velocidades de rebaixamento do NF. (** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo).

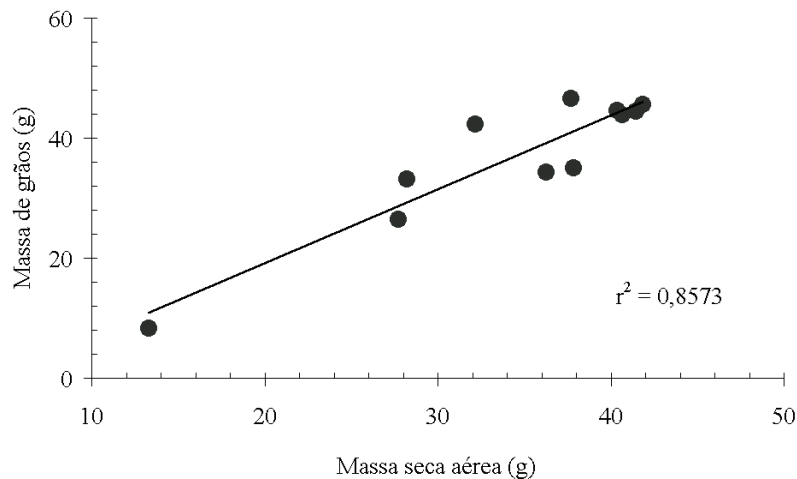


Figura 6. Massa total de grão e massa seca da parte aérea das plantas de soja submetidas à inundação do solo.

6 CONCLUSÕES

As plantas de soja apresentaram maior suscetibilidade à inundação do solo quando essa ocorreu durante o período vegetativo. As taxas de rebaixamento do NF influenciaram o

desenvolvimento e a produtividade das plantas de soja. O aumento da velocidade de drenagem reduziu os danos ocasionados às plantas pelo excesso de água no solo, principalmente no estágio menos tolerante a essa condição.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADRE, L.M. de; REIS, A.E.G. Efeito da profundidade do lençol freático nas culturas de soja, de milho e de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.6, p.923-933, 1992.
- BARNI, N.A. Efeito do período de inundação do solo na absorção de nutrientes, uso da água e crescimento da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.7-18, 1999.
- BELFORD, R.K. et al. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of peas (*Pisum sativum* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Cambridge, v.31, n.9, p.857-869, 1980.
- BRADFORD, K.J.; YANG, S.F. Physiological responses of plants to waterlogging. **HortScience**, Alexandria, v.16, n.1, p.25-30, 1981.
- CALHEIROS, R. O. et al. Efeito de três manejos do lençol freático na adaptação fisiomorfológica de feijoeiro ao encharcamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.54, n.4, p.779-789, 2001.
- CÂMARA, G.M.S; HEIFFIG, L.S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S (Coord.) **Soja: tecnologia e produção II**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. cap. 5, p.81-119.
- CRUCIANI, D.E. Caracterização agrônômica de coeficientes de drenagem para a elaboração de projetos com a cultura do milho. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v.22, n.1, p.28-31, 1985.
- DENNIS, E.S. et al. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.51, n.1, p.88-97, 2000.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Iowa Agricultural Experiment and Home Economics Experiment Station**. Special Report, Iowa, n. 80, p.3-11, 1977.
- GASTAL, M. F. C. Excesso de água no solo – Efeitos na soja. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.3, n.1, p.93-110, 2000.
- GRIFFIN, J.L.; SAXTON, A.M. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.6, p.885-888, 1988.
- HEATHERLY, L.G.; PRINGLE, H.C. Soybean cultivars response to flood irrigation of Clay soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.1, p.231-236, 1991.

- KAWASE, M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. **HortScience**, Alexandria, v.16, n.1, p.30-34, 1981.
- LINKEMER, G.; BOARD, J.E.; MUSGRAVE, M.E. Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v.38, n.6, p.1576-1584, 1998.
- PIRES, J.L.F; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p.41-50, 2002.
- SÁ, J. S. de; CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Horticultura brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.50-54, 2004.
- SALLAM, A.; SCOTT, H.D. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. **Soil Science**, Philadelphia, v.144, n.1, p.61-66, 1987.
- SCOTT, H.D. et al. Flood duration effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.4, p.631-636, 1989.
- SEONG, R.C.; SOHN, J.Y.; SHIM, S. Responses of soybean cultivars to excessive soil moisture imposed at different growth stages. **Korean Journal of Crop Science**, Suwon, v. 45, n.5, p. 282-287, 2000. In: **CAB Abstracts on CD-ROM**, 2000-01.
- SILVA, A. R. Tolerância das plantas ao encharcamento. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1., Porto Alegre, 1984. **Anais**. Brasília: PROVÁRZEAS, 1986. P.166-181.
- SUGIMOTO, H.; KOESMARYONO, Y.; NAKANO, R. Effects of excess moisture in the soil at different stages of development on the growth and seed yield of soybean. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v.3, n.9, p.1465-1667, 2000.
- TROEDSON, R.J. et al. Response of field-growth soybean to saturated soil culture. 1. Patterns of biomass and nitrogen accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.21, n.3-4, p.171-187, 1989.
- VAN TOAI, T. et al. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 34, n.4, p.1112-1115, 1994.
- VOESENEK, L.A.C.J. et al. An amalgamation between hormone physiology and plant ecology: a review on flooding resistance and ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v.11, n.3, p.171-188, 1992.
- WOLFE, D.W. et al. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.6, p.859-864, 1988.