

Desempenho morfofisiológico de cultivares de soja de ciclo precoce sob alagamento do solo

Marcos Paulo Ludwig¹; Luis Osmar Braga Schuch²; Sandro de Oliveira³; Francisco de Jesus Vernetti Junior⁴; Elisa Souza Lemes³; Marciabela Fernandes Correa³; Rogério Seus⁵

Resumo: A cultura da soja vem sendo cultivada em regiões de solos de várzea, estando estas sujeitas ao alagamento do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar alterações morfofisiológicas de cultivares de soja de ciclo precoce, quando submetidas ao alagamento do solo em diferentes estágios fenológicos, visando identificar maior ou menor tolerância ao alagamento do solo. Três sistemas de manejo da água foram aplicados: condição normal de cultivo, alagamento no período vegetativo e alagamento em período reprodutivo. Os parâmetros avaliados foram: a altura das plantas, diâmetro da haste principal, índice do teor de clorofila, redução do índice do teor de clorofila, fenologia e número de nós na haste por planta. O alagamento do solo nos estádios vegetativo e reprodutivo, causou retardamento na ocorrência dos estádios fenológicos, e no ciclo total de cultivares de soja. O alagamento do solo reduziu o número de nós na haste principal e a estatura das plantas, sendo os efeitos mais acentuados quando ocorre no estágio vegetativo havendo também diminuição do teor de clorofila das cultivares de soja, principalmente no período vegetativo.

Palavras-chave: altura da planta; diâmetro haste; estresse hídrico; fotossíntese; *Glycine max*.

Morphophysiological performance of early maturing soybean cultivars under flooding

Abstract: The soybean crop is usually grown in areas of lowland soils, as those subject to flooding. The aim of this study was to evaluate morphological and physiological changes of early maturing soybean cultivars, when subjected to flooding at different growth stages, to identify more or less tolerance to flooding. Three management systems of water were applied: normal condition of cultivation, flooding the growing season and flooding in reproductive period. Plant height was measured, diameter of the main stem, chlorophyll content index, reduction of chlorophyll content index, phenology and number of nodes in the stem per plant. The flooding in vegetative and reproductive stages, cause delay in the occurrence of phenological stages, and overall maturity soybean cultivars. The flooding reduces the number of nodes on the main stem and plant height, with the most pronounced effects when it occurs in the vegetative stage. The flooding reduces the rate of chlorophyll content of soybean cultivars, especially in the growing season.

¹Eng. Agr., Doutor, Professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua Nelsi Ribas Fritsch, 1111, Esperança, Ibirubá-RS, Brasil 98.200-000, plmarcos1@yahoo.com.br.

²Eng. Agr., Dr. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL/FAEM), Capão do Leão-RS, Brasil, 96.010-900, lobs@ufpel.edu.br.

³Eng. Agr. Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL/FAEM), Capão do Leão-RS, Brasil, 96.010-900. sandrofaem@yahoo.com.br, marciabelafc@yahoo.com.br, lemes.elisa@yahoo.com.br.

⁴Eng. Agr., Pesquisador, Doutor Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão-RS, Brasil, 96.001-970 francisco.vernetti@cpact.embrapa.br.

⁵Eng. Agr., Mestre, Doutorando, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Viçosa-MG, Brasil, rseusagro@hotmail.com.

Autor para correspondência; sandrofaem@yahoo.com.br,

Key words: plant height, stem diameter, photosynthesis, hydric stress, *Glycine max*.

Introdução

No Brasil, estima-se que haja cerca de 28 milhões de hectares de solos sujeitos ao alagamento (solos aluviais e hidromórficos), grande parte dessas áreas encontram-se na região dos Cerrados e outra parcela (6,8 milhões de ha) na região Sul do Brasil, sendo cerca de 5,4 milhões de hectares no RS, os quais poderiam ser incorporadas ao processo produtivo (MAGALHÃES *et al.*, 2005).

Na região Sul do Rio Grande do Sul aproximadamente 600.00 há são cultivados com soja, isso resulta na necessidade de produção de sementes, pois estima-se que apenas 10% das sementes são produzidas nestas regiões (GAZOLLA NETO E SCHUCH, 2013).

O alagamento do solo é considerado como um dos principais estresses em muitos ecossistemas (Serres e Voesenek, 2008), na cultura da soja este problema pode ser considerado um dos principais. A diversidade genética na resposta das plantas à inundação inclui alterações na arquitetura, no metabolismo e no acúmulo de biomassa, que são mecanismos associados a uma estratégia de escape à baixa concentração de O₂ que permitem a resistência das plantas a períodos prolongados de imersão (SERRES E VOESENEK, 2008).

A clorofila, pigmento típico de organismos fotossintetizantes, fica estruturada dentro dos cloroplastos e tem sua manutenção dependente da presença de luminosidade. Os cloroplastos sob as condições de escuro podem ser revertidos em estiloplastos podendo também ser convertidos em cromoplastos (TAIZ E ZEIGER, 2009). Desta maneira, os cloroplastos podem ser transformados em outras estruturas e em condições de estresse estes também podem ser degradados.

Amarante *et al.* (2007) detectaram redução dos pigmentos clorofila a e b em plantas de soja que passaram por regime hídrico de inundação do solo. Quando as plantas passam por períodos de alagamento do solo são ativados mecanismos morfológicos de tolerância, como, o desenvolvimento de aerênquima que são vias internas de aeração (Thomas *et al.*, 2005; Videmšek *et al.*, 2006) e a formação de raízes adventícias na base da parte aérea é iniciada (PIRES *et al.*, 2002; THOMAS *et al.*, 2005).

O acompanhamento do ciclo fenológico da cultura da soja tem papel fundamental para o planejamento da lavoura para evitar congestionamento de atividades em um único período (QUEIROZ *et al.*, 1996). Alterações ambientais afetam o ciclo da cultura (Motta *et al.*, 2002; Ludwig *et al.*, 2010), modificando a fenologia da soja, que é uma ferramenta eficaz de

manejo, uma vez que possibilita identificar seu estado fisiológico, o qual está relacionado a uma série de necessidades do vegetal.

Diante disto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar alterações morfofisiológicas de cultivares de soja de ciclo precoce, quando submetidas ao alagamento do solo em diferentes estágios fenológicos, visando identificar maior ou menor tolerância ao alagamento do solo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico com textura franco-arenosa, de profundidade entre 20 e 40 cm, e horizonte B impermeável, durante a safra 2009/2010.

Foram semeadas 10 cultivares de soja BMX Apolo, BRS Macota, BRS 211, CD 213 RR, CD 221, Fundacep 53 RR, IAS 5, PCL 04-12, PCL 04-18 e PCL 06-04. Foram aplicados três sistemas de manejo da água nas parcelas (Tratamentos), condição normal de cultivo (sem alagamento), alagamento no período vegetativo (quando as plantas se encontravam no estágio V3/V4) e alagamento no período reprodutivo, quando as plantas se encontravam no estágio R2/R3.

Foi utilizada a escala de Fehr e Caviness (1977) para definição dos estágios fenológicos. O alagamento no período vegetativo iniciou dia 6 de janeiro de 2010 e a drenagem foi realizada dia 14 de janeiro de 2010. As parcelas permaneceram por oito dias sob alagamento. Já no período reprodutivo o alagamento iniciou dia 13 de fevereiro de 2010 e terminou dia 18 de fevereiro de 2010. As parcelas permaneceram por cinco dias sob alagamento.

Nas parcelas que receberam alagamento foram construídas taipas ao redor das mesmas para possibilitar a manutenção de uma lâmina de água de cinco centímetros de altura. Após o alagamento a área foi drenada, e as parcelas permaneceram sob condição naturais de cultivo até a maturação.

O delineamento experimental utilizado foi parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram dispostos os manejos de água e nas subparcelas as cultivares. As subparcelas foram compostas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas em 0,50 m, a área útil foi constituída das duas linhas centrais, eliminando-se 0,50 m de cada extremidade, perfazendo o total de 4,0 metros quadrados. A densidade de semeadura utilizada foi estipulada para obtenção de uma população inicial de 300 mil plantas por hectare. A semeadura foi realizada dia 10 de dezembro de 2009, sendo utilizado 350 kg

ha⁻¹ de adubo da fórmula 5 20 10.

Para a inoculação das sementes foi utilizado o produto "Nitralgín Cell Tech" com as estirpes Semia 5079 e Semia 5080. O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foi realizado com produtos, doses e em épocas recomendados para a região. Quando necessário foram realizadas irrigações na área, sendo utilizados tensiômetros para o manejo da mesma, sendo realizado a aplicação de uma lâmina de 15 mm na área.

As avaliações realizadas foram:

Diâmetro da haste principal (DHP): a medida foi obtida com paquímetro a uma altura de cinco centímetros do solo, 12 horas após a retirada da água, em seis plantas da área útil da parcela.

Altura de plantas (AP): a medida foi realizada com régua graduada aos 14 dias após a drenagem da área, em seis plantas da área útil de cada parcela, sendo o resultado expresso em centímetros.

Índice do teor de clorofila (ITC): foi medido com o aparelho "CCM-200 Chlorophyll Meter" que utiliza a absorbância para estimar o teor de clorofila no tecido foliar. Os índices foram obtidos em 10 plantas de cada parcela, realizando uma leitura em cada lado da nervura central da quarta folha totalmente expandida, contada a partir do ápice. A primeira leitura foi realizada antes do alagamento, a segunda aos cinco dias após a entrada da água (DAEA), a terceira e quarta aos 12 e 19 DAEA e a última aos 33 DAEA.

Redução do Índice do teor de clorofila (RITC): para obtenção deste valor foi subtraído o valor do índice do teor de clorofila de cada parcela sem alagamento pelo valor do índice do teor de clorofila de cada parcela que sofreu alagamento, na respectiva data de avaliação.

Foi avaliado o intervalo de dias entre a emergência e início do florescimento (VE à R1), emergência e início do enchimento de grãos (VE à R5) e emergência e maturação fisiológica (VE à R7). As avaliações foram realizadas através de vistorias periódicas em todas as parcelas, aonde foram verificados os estádios fenológicos segundo escala de Fehr e Caviness (1977).

O número de nós na haste principal (NNHP) foi determinado quando as plantas atingiram os estádios R1 e R5 (Fehr e Caviness, 1977), através da contagem do número destes na haste principal em seis plantas na área útil das parcelas.

Realizou-se a análise da variância e teste de hipóteses para verificar a significância dos efeitos principais e das interações. As comparações de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey ($p > 0,05$) de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

A análise de a variância realizada nas cultivares, quando conduzidas sem e com alagamento por oito dias no período vegetativo, para a variável altura de plantas (AP), na ocasião da drenagem mostrou que houve interação entre os fatores analisados, determinando um comportamento diferenciado das cultivares dentro de cada manejo de água (Tabela 1). Esta observação contraria as observações de Henshaw (2005) que não observou interação significativa entre genótipo de soja e manejo de água para a variável altura de plantas. Embora a análise deste parâmetro deva ser realizada dentro de cada manejo de água é notável a diferença absoluta entre os valores obtidos para a média em cada um deles.

O alagamento determinou uma diminuição média na AP da soja de 46,1%, valores esses semelhantes aos observados por Vantoai *et al.* (2001) e Cho e Yamakawa (2006). No tratamento com alagamento a cultivar BRS Macota apresentou o menor porte médio (16,9 cm) diferindo das cultivares CD 221, CD 213 RR, Fundacep 53 RR e BRS 211 que, apresentaram as maiores alturas de planta.

O diâmetro da haste principal (DHP) apresentou diferença entre as cultivares e entre os sistemas de manejo de água (conduzidas sem e com alagamento por oito dias no período vegetativo) (Tabela 1). Houve um aumento médio de 12,5% no DHP das cultivares submetidas ao tratamento com alagamento, estando esse comportamento provavelmente, relacionado com desenvolvimento de estruturas adaptativas ou mecanismos morfológicos de tolerância, como formação de vias alternativas para aumentar a aeração do sistema radicular (Thomas *et al.*, 2005; Videmšek *et al.*, 2006)

Considerando-se a relação existente entre o aumento do diâmetro da haste principal e a tolerância ao alagamento do solo (Pires *et al.*, 2002) pode-se verificar que, respectivamente destacam-se como as mais tolerantes as cultivares BMX Apolo, CD 221 e Fundacep 53 RR. Verifica-se também, como as mais suscetíveis ao alagamento as cultivares BRS 211 e BRS Macota. Em função dos valores acima descritos de altura de plantas e os resultados observados para DHP pode-se afirmar que as cultivares CD 221 e BRS Macota, apresentam respectivamente os maiores níveis de tolerância e suscetibilidade ao alagamento do solo no período vegetativo.

Tabela 1 – Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja ciclo precoce, conduzidas sem (SA) e com alagamento por oito dias no período vegetativo (V3/V4) (APV), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Altura de planta (cm)	Diâmetro da haste
-----------------------	-------------------

Cultivares	principal (cm)					
	SA		APV		SA	APV
BMX Apolo	32,3 d	A	18,8 cd	B	0,529 a	0,586 a
BRS Macota	38,2 bcd	A	16,9 d	B	0,414 b	0,400 b
BRS 211	51,5 a	A	23,4 abc	B	0,406 b	0,394 b
CD 213 RR	47,7 ab	A	25,1 ab	B	0,419 b	0,431 ab
CD 221	45,4 abc	A	27,1 a	B	0,403 b	0,554 ab
Fundacep 53 RR	36,0 cd	A	23,5 abc	B	0,405 b	0,513 ab
IAS 5	37,9 bcd	A	21,7 abcd	B	0,436 ab	0,473 ab
PCL 04-12	40,6 abcd	A	22,4 abcd	B	0,427 ab	0,508 ab
PCL 04-18	39,2 bcd	A	21,6 abcd	B	0,418 b	0,501 ab
PCL 06-04	41,0 abcd	A	20,4 bcd	B	0,401 b	0,428 ab
Média	41,0		22,1		0,426 B	0,478 A
CV. (%)	9,9				10,6	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

A análise da variância da altura de planta (AP) das cultivares, quando submetidas ao alagamento de solo no período reprodutivo (Tabela 2), medidas na retirada da água não apresentou interação entre cultivares e alagamento do solo, resultados estes, semelhantes aos encontrados por HENSHAW (2005).

Considerando-se as médias das AP, independentemente das cultivares, observa-se o efeito negativo do alagamento, que reduziu a medida em cerca de 4,5 cm. Estes resultados estão de acordo com os observados por Vantoai *et al.* (2001) e Cho e Yamakawa (2006). Segundo Cornelius *et al.* (2006) mesmo as variedades mais tolerantes, quando sob situações severas de excesso hídrico do solo sofrem prejuízos. Diferença entre as cultivares somente foi observada no tratamento sem alagamento. As cultivares com maior AP foram a PCL 04-12, BRS 211 e BRS Macota com 102, 87 e 87 cm, respectivamente.

O diâmetro da haste principal (DHP) das cultivares avaliadas no período reprodutivo (Tabela 2), apresentou medidas significativamente maiores para o tratamento com alagamento (7,7%). Resultados semelhantes foram observados por Dutra *et al.* (2012), em plantas de girassol, onde as plantas cultivadas com maior disponibilidade hídrica (100% CRA e hipoxia), apresentaram maior diâmetro de caule.

O aumento médio do DHP nas cultivares submetidas ao alagamento é explicado por Thomas *et al.* (2005); Videmšek *et al.* (2006) que observaram a ativação de mecanismos morfológicos de tolerância, como, o desenvolvimento de aerênquima, quando estas passam por períodos de alagamento do solo. Não houve diferença entre cultivares no manejo com alagamento. No tratamento sem alagamento a cultivar BMX Apolo apresentou maior DHP,

porém não diferindo estatisticamente das cultivares BRS Macota, CD 221, PCL 04-12 e PCL 04-18.

Tabela 2 – Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja de ciclo precoce, conduzidas sem (SA) e com alagamento por cinco dias no período reprodutivo (R2/R3) (APR), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Cultivares	Altura de planta (cm)		Diâmetro da haste principal (cm)	
	SA	APR	AS	APR
BMX Apolo	67,72 cd	70,72 a	0,881 a	0,823 a
BRS Macota	87,00 ab	83,61 a	0,758 ab	0,833 a
BRS 211	87,50 ab	73,61 a	0,640 b	0,607 a
CD 213 RR	73,94 bcd	78,17 a	0,604 b	0,736 a
CD 221	82,17 bc	69,50 a	0,663 ab	0,749 a
Fundacep 53 RR	63,72 d	66,22 a	0,619 b	0,707 a
IAS 5	69,61 cd	69,94 a	0,619 b	0,716 a
PCL 04-12	102,22 a	83,89 a	0,665 ab	0,739 a
PCL 04-18	72,83 bcd	69,94 a	0,651 ab	0,680 a
PCL 06-04	73,22 bcd	68,17 a	0,639 b	0,667 a
Média	77,99 A	73,38 B	0,674 B	0,726 A
CV. (%)	8,4		9,9	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

As medidas do índice do teor de clorofila (ITC) (Tabela 3) realizadas antes da entrada de água no período vegetativo, não mostraram haver diferença entre as cultivares, variando entre 18,93 a 24,66 (Tabela 3). Após o alagamento do solo, verificou-se acentuada redução no ITC medido até os 19 dias após a entrada da água (DAEA), ou seja, 11 dias após a retirada da água, e a partir desse os valores médios começaram a crescer. Até os 19 DAEA as cultivares responderam diferenciadamente ao alagamento, sendo que apenas na última data de avaliação deixaram de apresentar estas diferenças. Aos 5 DAEA a cultivar IAS 5 foi superior a cultivar PCL 04-12.

Na avaliação realizada aos 12 DAEA a cultivar que se sobressaiu melhor foi a CD221, em contrapartida a cultivar BRS Macota foi a que obteve o menor valor ITC. Já aos 19 DAEA, a cultivar BMX Apolo foi a que apresentou maior ITC, mas não diferindo estatisticamente das cultivares CD 221, Fundacep 53 RR, IAS 5, PCL 04-18 e PCL 06-04. As cultivares BRS 221 e CD 312 RR apresentaram menores ITC que as cultivares BMX Apolo e Fundacep 53 RR. Aos 33 DAEA não foi observado diferença entre as cultivares. Mommer *et al.* (2006) atribuem diferenças entre as cultivares a diversidade genética das mesmas, o que

pode resultar em respostas diferentes das plantas à inundação possibilitando que as cultivares apresentem uma maior tolerância ou suscetibilidade ao alagamento do solo. Ainda segundo Neto *et al.* (2009) diferenças de expressão das cultivares podem estar relacionados com as características intrínsecas das cultivares, as quais podem ser expressas em determinadas condições de cultivo.

Tabela 3 – Índice do teor de clorofila de cultivares de soja ciclo precoce, em cinco datas de avaliação (antes do alagamento, aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por oito dias no período vegetativo (V3/V4), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Cultivares	Antes	5	12	19	33DAEA
		DAEA	DAEA	DAEA	
BMX Apolo	24,66 a	13,91 ab	7,92 abc	9,16 a	21,16 a
BRS Macota	22,21 a	16,76 ab	2,93 d	4,91 bc	21,43 a
BRS 211	22,12 a	12,95 ab	5,56 bcd	3,88 c	20,12 a
CD 213 RR	22,94 a	13,66 ab	4,54 cd	3,88 c	15,74 a
CD 221	22,69 a	17,04 ab	10,11 a	6,64 abc	17,57 a
Fundacep53RR	20,72 a	16,85 ab	9,21 ab	7,78 ab	24,41 a
IAS 5	22,83 a	18,22 a	6,79 abcd	5,52 abc	16,79 a
PCL 04-12	20,64 a	11,98 b	5,75 bcd	5,22 bc	15,53 a
PCL 04-18	18,93 a	12,95 ab	7,08 abc	7,37 abc	17,56 a
PCL 06-04	23,12 a	12,78 ab	5,20 bcd	5,40 abc	15,36 a
Média	22,08	14,66	6,51	6,07	18,57
CV. (%)	12,7	11,7	11,5	12,1	12,7

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as medidas do índice do teor de clorofila (ITC) realizadas antes da entrada de água no estágio reprodutivo, mostraram haver diferença entre as cultivares (Tabela 4). Os maiores ITC foram identificados nas cultivares CD 221 (26,77), IAS 5 (26,54) e BRS 211 (27,78) que, por sua vez, diferiram cultivar PCL 06-04 (21,65), porém não diferindo das demais cultivares. Na avaliação aos cinco dias após a entrada da água (DAEA), a cultivar PCL 06-04 apresentou o menor valor de ITC, diferindo das cultivares CD 221, BRS Macota, IAS 5 e BRS 211.

Na avaliação aos 12 DAEA não foi constatado diferença entre as cultivares avaliadas. Aos 19 DAE, as cultivares responderam diferenciadamente ao alagamento, sendo os maiores valores do ITC observados nas cultivares CD 221, Fundacep 53 e BMX Apolo, as quais diferiram das cultivares PCL 04-12 e PCL 04-18. Na última avaliação somente foi observado diferença entre as cultivares com maior e menor valor, sendo elas respectivamente, Fundacep 53 RR com 24,19 e PCL 06-04 com 14,00.

Tabela 4 – Índice do teor de clorofila de cultivares de soja, ciclo precoce, em 5 datas de avaliação (antes do alagamento, aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por cinco dias no período reprodutivo (R2/R3), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Cultivares	Antes	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BMX Apolo	24,9 ab	25,9 abc	23,4 a	22,3 a	16,4 ab
BRS Macota	25,2 ab	28,6 a	23,3 a	19,3 ab	22,9 ab
BRS 211	27,7 a	29,0 a	23,5 a	16,7 ab	17,2 ab
CD 213 RR	25,3 ab	23,3 bc	20,1 a	18,5 ab	17,9 ab
CD 221	26,7 a	27,7 ab	23,5 a	22,5 a	20,5 ab
Fundacep53RR	24,8 ab	26,9 abc	20,5 a	22,4 a	24,1 a
IAS 5	26,5 a	28,4 a	23,7 a	19,4 ab	19,2 ab
PCL 04-12	25,0 ab	24,6 abc	19,7 a	15,7 b	17,7 ab
PCL 04-18	25,4 ab	24,5 abc	22,2 a	15,3 b	19,1 ab
PCL 06-04	21,6 b	22,4 c	20,0 a	17,1 ab	14,0 b
Média	25,3	26,1	22,0	18,9	18,9
CV. (%)	5,2	5,7	11,8	12,7	14,1

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução do índice do teor de clorofila, representa o comportamento individual das cultivares no decorrer do período de avaliação, com alagamento no período vegetativo (Tabela 5). Além do efeito ocasionado pelo fechamento estomático o alagamento também reduz o pigmento clorofila (AMARANTE *et al.*, 2007; YORDANOVA e POPOVA, 2007).

Na avaliação aos 5 DAEA a cultivar BRS 211 apresentou a maior redução, não diferindo da BMX Apolo, BRS Macota, PCL 04-18 e PCL 06-04. Aos 12 DAEA o genótipo com maior redução foi a BRS Macota que não diferiu da BRS 211 e PCL 06-04. Na avaliação os 19 DAEA as maiores reduções foram observadas nas cultivares BRS 211 e BRS Macota, não diferindo das cultivares CD 221, Fundacep 53 RR, IAS 5 e PCL 04-12. Na última avaliação não foi constada diferença entre cultivares.

Os resultados indicam que as cultivares BRS 211 e BRS Macota apresentaram maiores reduções no índice do teor de clorofila, o que indica menor tolerância ao alagamento. Por outro lado, as cultivares CD 213 RR, CD 221 e PCL 04-18 apresentaram maior tolerância. Ishida *et al.* (2002) relacionam a redução no teor de clorofila à clorose nas folhas, o que pode ter sido acentuado pelo esgotamento dos nutrientes na planta, e desta forma, efeitos mais severos indicam maior sensibilidade do genótipo. Reduções dos teores de clorofila e transpiração foram observados por Cho e Yamakawa (2006), o que reduziu a capacidade fotossintética de plantas submetidas ao alagamento acarretando redução no crescimento das mesmas. De maneira geral, a falta ou excesso de água numa cultura podem ser prejudiciais ao seu desenvolvimento.

Tabela 5 – Redução do índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo precoce, em quatro datas de avaliação (aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por oito dias no período vegetativo (V3/V4), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Cultivares	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BMX Apolo	3,86 ab	16,63 bc	14,56 b	3,74 a
BRS Macota	4,93 ab	24,37 a	22,99 a	3,86 a
BRS 211	10,91 a	22,48 ab	22,89 a	7,66 a
CD 213 RR	3,12 b	14,15 c	13,57 b	9,58 a
CD 221	0,62 b	13,19 c	15,80 ab	9,21 a
Fundacep 53 RR	0,16 b	13,96 c	17,17 ab	0,44 a
IAS 5	1,76 b	16,56 bc	17,06 ab	9,75 a
PCL 04-12	2,30 b	13,99 c	16,46 ab	9,47 a
PCL 04-18	5,70 ab	15,68 c	14,71 b	7,85 a
PCL 06-04	7,04 ab	18,49 abc	14,26 b	6,29 a
Média	4,04	16,95	16,94	6,78
CV. (%)	64,9	13,6	15,1	54,5

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Análise da redução do índice do teor de clorofila (RITC) realizado com o alagamento do solo no período reprodutivo (Tabela 6), mostrou diferença entre as cultivares somente na avaliação aos 19 DAEA, onde a cultivar que apresentou maior redução foi a BRS 211, diferindo apenas da cultivar CD 221, a qual apresentou menor redução com o alagamento do solo.

Considerando a correlação positiva observada entre clorose e suscetibilidade ao alagamento, (Vantoai e Nurjani, 1996) devido à redução de clorofila (Ashraf e Chishti, 1993), pode-se observar que o genótipo BRS 221 apresenta alta sensibilidade ao alagamento e a CD 221 maior tolerância.

Tabela 6 – Redução do índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo precoce, em quatro datas de avaliação (aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por cinco dias no período reprodutivo (R2/R3), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Cultivares	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BMX Apolo	1,67 a	4,50 a	6,49 ab	7,69 a
BRS Macota	1,08 a	4,80 a	6,24 ab	6,11 a
BRS 211	1,06 a	6,55 a	11,01 a	11,46 a
CD 213 RR	2,44 a	3,82 a	8,08 ab	9,19 a
CD 221	1,67 a	2,48 a	3,05 b	6,17 a
Fundacep 53 RR	-0,98 a	1,87 a	6,12 ab	5,29 a
IAS 5	1,56 a	2,73 a	8,08 ab	9,33 a
PCL 04-12	1,33 a	4,10 a	6,24 ab	7,37 a
PCL 04-18	3,86 a	3,20 a	7,05 ab	8,92 a
PCL 06-04	1,60 a	2,50 a	6,69 ab	9,32 a
Média	1,53	3,65	6,9	8,08
CV. (%)	127	107	36,5	42,3

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O alagamento causou alteração na fenologia da cultura da soja, tanto no estágio vegetativo como no estágio reprodutivo (Tabelas 7 e 8). Com alagamento do solo no estágio vegetativo ocorreram aumentos nos intervalos entre emergência e o início do florescimento para todas cultivares, aumentando em aproximadamente cinco dias (Tabela 7).

Os dados mostram que a duração média do estágio vegetativo da soja em condição de sem alagamento foi de 47,1 dias, já quando cultivado com alagamento do solo foi de 51,9 dias (Tabela 7). Trabalhando com características morfológicas em soja, Ludwig *et al.* (2010) observaram períodos vegetativos mínimos de até 39 dias quando a soja foi semeada em janeiro, reduzindo a estatura de plantas e o número de nós na haste principal.

Quando avaliado a duração média entre os estádios de emergência e início de enchimento de grãos, com e sem alagamento do solo no período vegetativo, obteve-se uma diferença de 10,7 dias, com aumento do ciclo das cultivares quando cultivadas com período de alagamento do solo.

A avaliação deste intervalo quando o alagamento foi no estágio reprodutivo (Tabela 8) observou-se interação entre cultivares e manejos de água. Entretanto, somente a cultivar BMX Apolo e a cultivar PCL 04-18, não apresentaram diferença para manejo de água, enquanto que para todas as demais cultivares o alagamento ocasionou aumento neste intervalo. Da mesma forma foi observado diferença entre a emergência e a maturação, com um aumento de 7,7 dias no ciclo quando as cultivares passaram pelo período de alagamento do solo no período

vegetativo, e aumento de 5,8 dias quando o alagamento ocorreu no estágio reprodutivo (Tabela 8).

Alterações na fenologia da cultura podem ser explicadas pelas mudanças na atividade hormonal, pois com o alagamento ocorrem alterações como forma de aumentar a tolerância das plantas aquela condição (Serres e Voesenek, 2008). Em condição normal, uma planta passa pelo período juvenil, fase adulta vegetativa e fase adulta reprodutiva.

Para que as plantas floresçam é necessário que elas sejam capazes de responder aos sinais ambientais, no caso da soja fotoperíodo, sinalizando e iniciando o desenvolvimento dos meristemas capazes de formar flores (Taiz e Zeiger, 2009), sendo a passagem do período vegetativo para o reprodutivo é marcado pelo início do florescimento.

Tabela 7 – Duração (número de dias) dos subperíodos emergência – início da floração (VE - R1), emergência – início do enchimento de grãos (VE - R5) e emergência – maturação fisiológica (VE - R7) de cultivares de soja, ciclo precoce, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio vegetativo (V3) (APV), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Ciclo	VE – R1		VE – R5		VE – R7	
	SA	APV	SA	APV	SA	APV
BMX Apolo	43 e	47 c	66 b	68 c	103 c	107 e
BRS Macota	49 abc	53 abc	67 b	91 a	113 b	125 b
BRS 211	43 e	52 bc	67 b	83 ab	112 b	121 bc
CD 213 RR	49 abc	53 abc	70 b	75 bc	114 b	119 bc
CD 221	48 bcd	51 bc	68 b	76 bc	111 b	119 bc
Fundacep53RR	47 bcd	50 bc	67 b	76 bc	112 b	116 cd
IAS 5	46 cde	50 bc	65 b	80 b	110 b	121 bc
PCL 04-12	51 a	59 a	76 a	90 a	121 a	132 a
PCL 04-18	50 ab	54 ab	80 a	90 a	122 a	133 a
PCL 06-04	45 de	51 bc	66 b	68 c	109 b	111 de
Média	47 B	52 A	69 B	80 A	113 B	120 A
CV. (%)	3,5		4,1		1,9	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Duração (número de dias) dos subperíodos emergência – início da floração (VE - R2), emergência - início do enchimento de grãos (VE - R5) e emergência – maturação fisiológica (VE - R7) de cultivares de soja, ciclo precoce, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por cinco dias no estágio reprodutivo a partir de R2 (APR), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Ciclo	VE – R5		VE – R7	
	SA	APR	SA	APR
BMX Apolo	66,0 b A	68,0 c A	102,7 c	123,0 a
BRS Macota	67,3 b B	81,7 a A	113,0 b	117,3 a

BRS 211	66,7 b B	75,7 ab A	111,7 b	117,7 a
CD 213 RR	69,7 b B	73,3 bc A	114,3 b	121,0 a
CD 221	67,7 b B	76,3 ab A	110,7 b	116,3 a
Fundacep 53 RR	67,0 b B	73,0 bc A	111,7 b	114,7 a
IAS 5	65,0 b B	73,7 bc A	110,0 b	114,0 a
PCL 04-12	75,7 a B	81,0 a A	121,7 a	124,3 a
PCL 04-18	79,7 a A	82,0 a A	122,3 a	124,7 a
PCL 06-04	65,7 b B	72,0 bc A	109,0 b	111,7 a
Média	67,7	75,7	112,7 B	118,5 A
CV. (%)	2,4		4,1	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

O alagamento do solo no estágio vegetativo reduziu o crescimento das plantas, fator este que fica evidenciado pela redução do número de nós na haste principal (Tabela 9), avaliado no início da floração, independente da cultivar.

De forma semelhante, ocorreu redução do número de nós na haste principal quando avaliado na fase de enchimento de grãos (R5), independente da cultivar. No entanto, o número de nós na haste principal não foi significativo entre as cultivares submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, e avaliados na fase de enchimento de grãos (R5), e tampouco houve diferença entre cultivares (Tabela 10). O alagamento do solo pode provocar alterações na respiração aeróbica, no nível nutricional e na fotossíntese, o que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das diferentes partes da planta em um ambiente alagado (Batista *et al.*, 2008).

Tabela 9 – Número de nós no início do florescimento (R1) e do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja, ciclo precoce, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio vegetativo (a partir de V3) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Ciclo	R1		R5	
	SA	APV	SA	APV
BMX Apolo	10,3 a	9,0 a	15,7 a	15,7 a
BRS Macota	12,0 a	8,0 a	16,3 a	13,0 a
BRS 211	11,0 a	8,0 a	16,0 a	13,0 a
CD 213 RR	11,7 a	9,0 a	15,3 a	14,3 a
CD 221	11,0 a	10,3 a	15,7 a	13,0 a
Fundacep 53 RR	10,0 a	8,0 a	15,0 a	11,7 a
IAS 5	11,3 a	8,7 a	14,7 a	12,3 a
PCL 04-12	11,3 a	10,0 a	17,0 a	15,0 a
PCL 04-18	11,3 a	9,3 a	15,0 a	12,7 a
PCL 06-04	11,7 a	8,7 a	14,3 a	12,7 a
Média	11,2 A	8,9 B	15,5 A	13,3 B
CV. (%)	13,7		12,0	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

Tabela 10 – Número de nós no início do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja, ciclo precoce, mantidas sob dois manejos: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio reprodutivo (a partir de R2) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10.

Ciclo	R5	
Precoce	SA	APV
BMX Apolo	15,7 a	15,0 a
BRS Macota	16,3 a	16,0 a
BRS 211	16,0 a	15,7 a
CD 213 RR	15,3 a	14,7 a
CD 221	15,7 a	15,3 a
Fundacep 53 RR	15,0 a	15,3 a
IAS 5	14,7 a	14,7 a
PCL 04-12	17,0 a	15,7 a
PCL 04-18	15,0 a	14,7 a
PCL 06-04	14,3 a	14,7 a
Média	15,5 A	15,2 A
CV. (%)	6,7	

Fonte: Dados do próprio autor

*Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey e maiúscula na linha pelo teste F ambos a 5% de probabilidade.

O controle das doenças na cultura está baseado nos estádios fenológicos da cultura que devem ser observados durante o ciclo para melhorar a eficiência dos produtos e reduzir os riscos de perdas. Desta forma, observa-se que com o alagamento do solo ocorre um atraso nos estádios fenológicos da cultura. Em área com possibilidade de alagamento do solo é importante o planejamento levando em conta as alterações ocorridas, para evitar problemas durante o ciclo da cultura.

Conclusões

O alagamento do solo nos estádios vegetativo e reprodutivo causou retardamento de ocorrência dos estádios fenológicos, bem como do ciclo total de cultivares de soja. O alagamento reduziu o número de nós na haste principal, a estatura das plantas, sendo os efeitos mais acentuados quando o alagamento ocorre no estágio vegetativo.

O alagamento do solo reduziu o índice do teor de clorofila das cultivares de soja, principalmente quando este ocorre no período vegetativo. Nenhuma das cultivares estudadas se destacou das demais, quando submetidas ao alagamento.

Referências

- AMARANTE, L.; COLARES, D. S.; OLIVEIRA, M. L.; ZENZEN, L. I.; BADINELLI, P. G.; BERNARDI, E. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 906-908, 2007.
- ASHRAF, M.; CHISHTI, S. N. Waterlogging tolerance of some accessions of lentil (*Lens culinaris* Medic.). **Tropical Agriculture**, v. 70, n. 1, p. 60-67, 1993.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botânica Brasileira**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.
- CHO, J.; YAMAKAWA, T. Effects on growth and seed yield of small seed soybean cultivars of flooding conditions in paddy field. **Journal of the Faculty of Agriculture**, Kyushu, v. 51, n. 2, p. 189–193, 2006.
- CORNELIUS, B.; CHENB, P.; HOUB, A.; SHIB, A.; SHANNONC, J. G. Yield potential and waterlogging tolerance of selected near-isogenic lines and recombinant inbred lines from two southern soybean populations. **Journal of Crop Improvement**, v. 16, n. 1-2, p. 97-110, 2006.
- DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S.P.Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2657-2668, 2012.
- FEHR, W.; CAVINESS, R. H. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, 1997.
- GAZOLLA NETO, A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de semente e o avanço da soja na Metade Sul do Rio Grande do Sul. **Seed News**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 36- 37, 2013.
- HENSHAW, T. L. **Morphological adaptations of soybean in response to early season flood stress**. 2005. 105 f. Tese de Mestrado. Florida Univrsity, 2005.
- ISHIDA, F. Y.; OLIVEIRA, L. E. M.; CARVALHO, C. J. R.; ALVES, J. D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1152-1159, 2002.
- LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, A. O.; ZABOT, L.; UHRY, D.; LISBOT, J. I.; JAUER, A. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e Roundup ReadyTM em função da época e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 759-767, 2010.
- MAGALHÃES, P. C.; COELHO, C. H. M.; GAMA, E. E. G.; GUIMARÃES, P. E. O.; GUIMARÃES, C. T.; DURÃES, F. O. M. Avaliação dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura para tolerância ao encharcamento do solo. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, v. 67, p. 1-4, 2005.

MOMMER, L.; LENNSEN, J. P. M.; HUBER, H.; VISSER, E. J. W.; DE KROON, H. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study of seven plant families. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1117–1129, 2006.

MOTTA, I. S.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; INOUE, M. H.; AVILA, M. R.; BRACCINI, M. C. L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. I. Efeito nas características agrônômicas. **Acta Scintiarum Agronomy**, Maringa, v. 24, n. 5, p. 1275-1280, 2002.

NETO, M. E. F.; PITELLI, R. A.; BASILE, E. A. G.; TIMOSSI, P. C. Seletividade de herbicidas pós-emergentes aplicados na soja geneticamente modificada. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 345-352, 2009.

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.

QUEIROZ, E. F.; MOLION, L. C. B.; GAUDENCIO, C. A.; GARCIA, A. Um modelo matemático de previsão da data de ocorrência de estádios fenológicos de 96 três cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 533-542, 1996.

SERRES, B. J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, 59:313–39, 208.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848 p.

THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M. C.; SODEK, L. Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. **Annals of Botany**, v. 9, p. 1191–1198, 2005.

VANTOAI, T. T.; MARTIN, S. T.; CHASE, S. K.; BORU, K.; SCHMIPKE, V.; SCHMITTHENNER, A.F.; LARK, K. G. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1247-1252, 2001.

VANTOAI, T. T.; NURJANI, N. Screening for flooding tolerance of soybean. Soybean Genetics. **Newsletter**, v. 23, p. 210-213, 1996.

VIDEMŠEK, U.; TURK, B.; VODNIK, D. Root aerenchyma – formation and function. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 87, n. 2, p. 445–453, 2006.

YORDANOVA, R. Y.; POPOVA, L. P. Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. **Acta Physiol Plant**, 29:535–541, 2007.