

## Desempenho morfofisiológico de genótipos de ciclo semi-tardio/tardio de soja sob alagamento do solo

Ludwig, Marcos Paulo<sup>1,4</sup>; Luis Osmar Braga Schuch<sup>2</sup>; Francisco de Jesus Vernetti Junior<sup>3</sup>; Sandro de Oliveira<sup>2</sup>; Rogério Seus<sup>2</sup>; Renato Lopes Crizel<sup>2</sup>; Marciabela Fernandes Corrêa<sup>2</sup>; Elisa Souza Lemes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), Câmpus Ibirubá, 98200-000, Ibirubá, RS, Brasil;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPEL/FAEM), 96010-900, Capão do Leão, RS, Brasil; <sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 96010-900, Capão do Leão, RS, Brasil;

<sup>4</sup>marcos.ludwig@ibiruba.ifrs.edu.br

Ludwig, Marcos Paulo; Luis Osmar Braga Schuch; Francisco de Jesus Vernetti Junior; Sandro de Oliveira; Rogério Seus; Renato Lopes Crizel; Marciabela Fernandes Corrêa; Elisa Souza Lemes (2018) Desempenho morfofisiológico de genótipos de ciclo semi-tardio/tardio de soja sob alagamento do solo. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (2): 215-222.

A região Sul do Rio Grande do Sul possui regiões de solos de várzea, as quais estão sujeitas a alagamento, e estão sendo cada vez mais cultivadas com soja. O objetivo do trabalho foi avaliar alterações morfofisiológicas cultivares de soja de ciclo semi-tardio/tardio, sob alagamento do solo no estágio fenológico vegetativo e reprodutivo. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, no município do Capão do Leão, RS. Três sistemas de manejo da água foram aplicados condição normal de cultivo, alagamento no período vegetativo e alagamento em período reprodutivo. Durante o ciclo da cultura foram avaliados altura de 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 reduz o número de nós na haste principal, reduzindo a estatura das plantas, sendo os efeitos mais acentuados quando o alagamento ocorre no estágio vegetativo. Altura de planta indica que a cultivar CLBRS 9911 apresentam maior tolerância ao alagamento, já as cultivares CD 219 RR, Embrapa 45 e PCL 06 - 08 os menores. Os valores de índice do teor de clorofila indicam como mais promissor a cultivar FT-Abyara. O alagamento do solo tanto no estágio vegetativo como no estágio reprodutivo, causa retardamento de ocorrência dos estádios fenológicos, bem como do ciclo total de cultivares de soja.

**Palavras-Chave:** *Glycine max* (L.) Merrill; solos hidromórficos; encharcamento; fotossíntese; índice do teor de clorofila.

Ludwig, Marcos Paulo; Luis Osmar Braga Schuch; Francisco de Jesus Vernetti Junior; Sandro de Oliveira; Rogério Seus; Renato Lopes Crizel; Marciabela Fernandes Corrêa; Elisa Souza Lemes (2018) Morphophysiological performance genotypes of semi-late maturity / late soybean under flooding. Rev. Fac. Agron. Vol 117 (2): 215-222.

The southern region of Rio Grande do Sul has several areas of lowland soils, which are subject to flooding, and are increasingly being planted with soybeans. The objective was to evaluate changes morphophysiological soybean cultivars of semi-late maturity / late under flooding in vegetative and reproductive growth stage. The experiments were conducted at Estação Experimental de Terras Baixas, Embrapa Clima Temperado, in Capão do Leão, RS. Three water management systems are in normal condition of cultivation, flooding in the vegetative stage and flooding in reproductive stage. During the crop cycle were evaluated plant height, diameter of the main stem, chlorophyll content index, reduction of chlorophyll content index, phenology and number of nodes on the stem per plant. Flooding reduces the number of nodes on the main stem, reducing plant height, with the most pronounced effects when flooding occurs in the vegetative stage. Plant height indicates that the farming CLBRS 9911 have increased tolerance to flooding, since the RR 219 CD cultivars Embrapa 45 and PCL 06 - 08 minors. The chlorophyll content index values indicate more promising cultivar FT-Abyara. The flooding both in the vegetative stage and in the reproductive stage, because of delay occurrence of phenological stages and the total soybean cultivars cycle.

**Key words:** *Glycine max* (L.) Merrill; lowlands; flooding; photosynthesis; chlorophyll content index.

Recibido: 26/03/2015

Aceptado: 12/11/2018

Disponibile on line: 01/04/2019

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUÇÃO

A diversificação e/ou incorporação de novas culturas às áreas de várzea (solos hidromórficos), geralmente destinadas à produção de arroz irrigado, é uma alternativa que vem sendo utilizada na rotação de culturas. Dentre as espécies produtoras de grãos, o milho, o sorgo e a soja são as principais opções para a diversificação do sistema de produção em solos de várzea, em rotação com o arroz irrigado (Silva & Parfitt, 2004). Mesmo não sendo o ambiente ideal para o cultivo da soja, os produtores vêm utilizando a soja em várzea em sucessão ao arroz irrigado (Ludwig et al., 2010), pois o alagamento do solo é considerado como um dos principais estresses em muitos ecossistemas de todo mundo (Serres & Voisenek, 2008) sendo considerado um problema na cultura da soja (Shimamura et al., 2002).

Em condições de alagamento do solo o desempenho da cultura é afetado, pois o alagamento modifica a atmosfera do solo, promove deficiência de O<sub>2</sub>, acúmulo de CO<sub>2</sub>, metano, etileno, gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e reduz a respiração aeróbica (Pires et al., 2002). Em plantas sensíveis, tais condições alteraram o metabolismo das plantas, ocasionando redução da produtividade da cultura (Drew, 1997; Jackson & Colmer, 2005; Yordanova & Popova, 2007; Serres & Voisenek, 2008; Taiz & Zeiger, 2009).

Uma das consequências do alagamento do solo é a diminuição da concentração de clorofila (Ladygin, 2004; Yordanova & Popova, 2007), como foi observado por Amarante et al., (2007) que detectaram redução dos pigmentos clorofila a e b em plantas de soja que passaram por regime hídrico de inundação do solo. No entanto, espécies adaptadas a condições de alagamento apresentam maior altura de planta, área foliar específica, teor de clorofila, conteúdo de aerênquima e longevidade das folhas (Mommer et al., 2006).

O cultivo da soja em solo com excesso hídrico afeta os componentes do rendimento, com variação no número de legumes, número de grãos por legume e produção de grãos em plantas de soja submetidas a excesso hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (Schoffel et al., 2001). Além disso os efeitos da inundação do solo sobre plantas de soja causaram mudanças anatômico-morfológicas adaptativas à esse ambiente (Pires et al., 2002).

As plantas diferem amplamente na sua capacidade de adaptação à deficiência de oxigênio (Colmer, 2003; Jackson & Colmer, 2005; Mommer et al., 2006). Sendo que algumas espécies desenvolvem mecanismos de adaptação morfológicos, metabólicos e anatômicos específicos, que permitem a tolerância ao alagamento, assim podendo sobreviver sob grandes estresses (Vartapetian & Jackson, 1997). Possivelmente graus de tolerância ao alagamento surgem conjuntamente com as características constitutivas, resultado da plasticidade fenotípica, e a adaptação revelada através da interação planta-ambiente (Jackson et al., 2009). Diante disto o objetivo do trabalho foi avaliar alterações morfofisiológicas de genótipos de ciclo semi-tardio/tardio da soja, ao alagamento do solo quando as plantas se apresentam em estádio fenológico vegetativo e reprodutivo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, localizada no Município de Capão do Leão, RS (31°52'00"S, 52°21'24"W), 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 semeados 10 cultivares de soja de ciclo semi-tardio/tardio sendo elas: CD 219 RR, BRS Pampa RR, Embrapa 45, CL 9920, CLBRS 9911, PCL 06 - 08, PCL 06 - 11, Fundacep 59 RR, FT Abyara e BRS Pala. Foram aplicados três sistemas de manejo da água nas parcelas, condição normal de cultivo (sem alagamento), alagamento no período vegetativo, quando as plantas se encontravam no estádio V3/V4 e alagamento no período reprodutivo, quando as plantas encontravam-se no estádio R2/R3. Foi utilizada a escala de Fehr & Caviness (1977) para definição dos estádios 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.

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, sendo que 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 de plantas inicial de 300 mil plantas por hectare. A semeadura foi realizada dia 10 de dezembro de 2009, a adubação utilizada foi de 350 kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK de formulação 05-20-10. Para a inoculação das sementes foi utilizado o produto "Nitralgin Cell Tech" com as estirpes Semia 5079 e Semia 5080. O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foram realizadas com produtos recomendados e nas doses e épocas usuais para a região. As avaliações realizadas foram:

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.

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, sendo os resultados expressos em centímetros.

Índice do teor de clorofila (ITC): foi medido com o aparelho "CCM-200 Chlorophyll Meter" que utiliza a absorvância 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.

Foram avaliados 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 & Caviness (1977). O número de nós na haste principal (NNHP) foi determinado quando as plantas atingiram os estádios R1 e R5 (Fehr & 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 a 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável altura de plantas (AP) a análise da variância realizada nas cultivares de soja, quando conduzidas sem e com alagamento por oito dias no período vegetativo, 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). Resultado semelhante foi observado por Henshaw (2005) que observou interação significativa entre genótipo de soja e manejo de água para a variável altura de plantas. Todas as cultivares, quando cultivadas em condições normais (sem alagamento) apresentaram maior altura de plantas do que quando sofreram alagamento do solo. O alagamento determinou uma diminuição média na AP de soja de 55,9%, valores que estão de acordo com os observados por Vantoai et al., (2001) e Cho & Yamakawa (2006).

Pode-se observar ainda diferenças entre as cultivares dentro de cada manejo de água, sendo que no manejo sem alagamento a cultivar CL 9920 apresentou maior altura de planta do que as cultivares BRS Pala, BRS Pampa RR, FT-Abyara, PCL 06 -08 e PCL 06 – 11. No tratamento com alagamento do solo a cultivar que apresentou a maior altura de planta foi CLBR5 9911 diferindo das cultivares CD 219 RR, Embrapa 45 e PCL 06 – 08 que apresentaram as menores alturas. Essa diferença de comportamento em relação ao alagamento do solo pode ter relação com a tolerância/suscetibilidade das cultivares a condição de alagamento do solo, devido suas possíveis diferenças das características constitutivas, resultado da plasticidade fenotípica, e a adaptação revelada através da interação planta-ambiente (Jackson et al., 2009).

Para o diâmetro da haste principal (Tabela 1) as cultivares de soja não apresentaram diferenças para os fatores cultivar e manejo de água, demonstrando que esta característica não é afetada pelo alagamento do solo no período reprodutivo em cultivares de ciclo tardio.

A análise da variável AP das cultivares de soja, com alagamento do solo no período reprodutivo não mostrou interação entre os fatores analisados (Tabela 2). No entanto, observa-se que o alagamento do solo provocou redução na AP de 85,57 para 81,73 centímetros, assim como Cho & Yamakawa (2006) que também observaram redução da estatura de plantas quando estas são expostas ao alagamento, resultados estes que também estão de acordo com os observados por Choi & Roberts, (2007) e Vantoai et al. (2001).

Quando cultivado sem alagamento do solo observa-se maior AP para as cultivares CLBR5 9911, CL 9920 e CD 219 RR, da mesma forma, quando cultivado com alagamento do solo, além destas as cultivares Embrapa 45 e PCL 06 – 08 apresentaram maior altura. Já os menores valores foram encontrados nas cultivares PCL 06-11, FT Abyara e BRS Pala. Para o DHP, as cultivares apresentaram diferenças entre os manejos de água (Tabela 2), sendo que o alagamento do solo provocou aumento do DHP, demonstrando que esta característica é afetada pelo alagamento do solo no período reprodutivo. A ativação de mecanismos morfológicos de tolerância ao alagamento das plantas, como, o desenvolvimento de aerênquima, quando estas passam por períodos de alagamento do solo, pode resultar em aumentos do DHP (Videmšek et al., 2006).

As medidas do índice do teor de clorofila das cultivares de soja, realizadas antes da entrada de água, no período vegetativo (Tabela 3) mostraram haver diferença significativa entre as cultivares, onde a cultivar com maior ITC foi FT Abyara, sendo esta superior as cultivares Embrapa 45 e CLBR5 9911. Diferenças entre cultivares também foram observadas nas avaliações aos cinco DAEA e 33 DAEA. Aos cinco DAEA novamente a cultivar FT Abyara apresentou maior valor do ITC, sendo superior as cultivares Embrapa 45 e CD 219 RR, porém ambas não diferiram das demais. Aos 33 DAEA a cultivar BRS Pampa RR foi superior apresentando maior ITC, enquanto que a cultivar Embrapa 45 foi a que apresentou menor ITC, sendo que ambas foram iguais as demais cultivares. O alagamento do solo determinou acentuada redução no ITC medido até os 12 DAEA, ou seja, 4 dias após a retirada da água, quando de maneira geral os valores médios começaram a crescer. A redução no teor de clorofila pode estar relacionada com cloroses nas folhas, o que pode ser acentuado pelo esgotamento dos nutrientes na planta, e desta forma, efeitos mais severos indicam maior sensibilidade do genótipo (Ishida et al., 2002).

As medidas do índice do teor de clorofila (ITC), realizadas antes da entrada de água (17 DAE) no período reprodutivo (Tabela 4) mostraram haver diferença significativa entre as cultivares, onde a cultivar Embrapa 45 apresentou menor ITC, sendo inferior as demais cultivares, exceto a cultivar PCL 06 -08 que não deferiu de nenhuma das cultivares. Na avaliação aos cinco, 19 e 33 dias após a entrada da água não foi verificada diferença entre as cultivares.

Tabela 1. Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja de ciclo tardio/semiotardio, 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. \*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.

Cultivares	Altura de planta (cm)		Diâmetro da haste principal (cm)	
	SA	APV	SA	APV
BRS Pala	36,3 cd A	19,8 ab B	0,384 a	0,364 a
BRS Pampa RR	34,1 d A	17,1 ab B	0,406 a	0,348 a
CD 219 RR	41,2 abcd A	15,0 b B	0,412 a	0,417 a
CL 9920	48,2 a A	22,1 ab B	0,385 a	0,344 a
CLBRS 9911	45,0 ab A	25,1 a B	0,338 a	0,504 a
Embrapa 45	44,1 abc A	15,3 b B	0,415 a	0,363 a
FT-Abyara	38,1 bcd A	19,0 ab B	0,387 a	0,389 a
Fundacep 59	40,2 abcd A	16,3 ab B	0,411 a	0,411 a
PCL 06 - 08	37,8 bcd A	16,0 b B	0,402 a	0,435 a
PCL 06 - 11	38,7 bcd A	16,1 ab B	0,385 a	0,458 a
Média	40,35	18,2	0,393 A	0,403 A
CV. (%)	9,9		17,1	

Tabela 2. Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja de ciclo tardio/semiotardio, 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. \*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.

Cultivares	Altura de planta (cm)		Diâmetro da haste principal (cm)	
	SA	APR	SA	APR
BRS Pala	73,50 e	70,28 c	0,608 a	0,682 a
BRS Pampa RR	81,56 de	82,39 bc	0,617 a	0,734 a
CD 219 RR	96,89 abc	88,33 ab	0,639 a	0,687 a
CL 9920	98,67 ab	87,39 abc	0,656 a	0,661 a
CLBRS 9911	104,17 a	99,94 a	0,631 a	0,654 a
Embrapa 45	86,44 bcd	88,89 ab	0,649 a	0,668 a
FT Abyara	75,89 de	70,28 c	0,622 a	0,620 a
Fundacep 59	76,39 de	75,06 bc	0,679 a	0,718 a
PCL 06 - 08	86,67 bcd	83,78 abc	0,664 a	0,742 a
PCL 06 - 11	85,50 cde	70,94 c	0,661 a	0,723 a
Média	85,57 A	81,73 B	0,643 B	0,689 A
CV. (%)	7,3		9,8	

Tabela 3. Índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo tardio/semiotardio, 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. \*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cultivares	Antes	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BRS Pala	20,36 abc	17,47 ab	4,02 a	6,78 a	18,59 ab
BRS Pampa RR	18,75 abc	14,87 ab	4,83 a	7,57 a	21,19 a
CD 219 RR	20,34 abc	11,09 b	2,79 a	2,97 a	10,90 ab
CL 9920	18,08 abc	15,40 ab	4,29 a	6,70 a	15,75 ab
CLBRS 9911	17,44 bc	13,26 ab	4,38 a	6,02 a	15,38 ab
Embrapa 45	17,21 c	11,76 b	2,68 a	2,67 a	7,41 b
FT Abyara	25,29 a	19,87 a	4,69 a	4,88 a	17,11 ab
Fundacep 59	19,40 abc	15,56 ab	3,81 a	2,69 a	15,14 ab
PCL 06-08	25,14 ab	13,87 ab	3,28 a	6,98 a	16,10 ab
PCL 06-11	21,97 abc	14,80 ab	3,24 a	8,43 a	15,82 ab
Média	20,4	14,80	3,8	5,57	15,34
CV. (%)	12,9	19,7	16,4	19,4	16,2

Tabela 4. Índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo tardio/semiotardio, 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 cinco dias no período reprodutivo (R2/R3), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, safra 2009/10. \*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cultivares	Antes	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BRS Pala	24,44 a	24,67 a	18,55 ab	18,23 a	15,05 a
BRS Pampa RR	25,01 a	22,53 a	19,20 ab	15,44 a	20,14 a
CD 219 RR	25,73 a	25,33 a	21,02 a	20,40 a	16,17 a
CL 9920	28,09 a	26,37 a	19,80 a	17,02 a	15,86 a
CLBRS 9911	25,37 a	25,53 a	21,79 a	14,89 a	21,43 a
Embrapa 45	18,85 b	18,84 a	13,60 b	19,07 a	10,66 a
FT Abyara	26,77 a	25,75 a	18,78 ab	19,36 a	16,82 a
Fundacep 59	27,32 a	25,50 a	20,17 a	15,28 a	20,33 a
PCL 06-08	23,41 ab	28,07 a	18,50 ab	18,30 a	16,09 a
PCL 06-11	24,94 a	22,39 a	17,43 ab	14,89 a	13,15 a
Média	24,99	24,50	18,88	17,38	16,57
CV. (%)	6,4	12,5	13,8	23,3	14,8

Já aos 12 DAEA, foi observado diferenças entre as cultivares, onde a cultivar Embrapa 45 apresentou menor valor de ITC, sendo esta inferior as cultivares CD 219 RR, CL 9920, CLBRS 9911 e Fundacep 59 e não diferindo das demais.

A análise da variável redução do índice do teor de clorofila (RITC), no período vegetativo, mostrou haver diferença entre os genótipos somente aos 12 DAE A (Tabela 5), onde a cultivar BRS Pala apresentou maior redução neste índice, porém somente diferiu da Embrapa 45. Quando avaliado a RITC no período reprodutivo, não houve diferença entre as cultivares (Tabela 6).

O alagamento do solo, no estágio vegetativo, causou alteração na fenologia da cultura da soja (Tabela 7), podendo observar um aumento de aproximadamente seis dias no intervalo entre a emergência e o início do florescimento. Apesar de ter sido observado aumento deste intervalo o alagamento do solo provocou uma uniformidade entre as cultivares para o início da floração, algo que não ocorreu quando as cultivares não sofreram alagamento do solo, onde a cultivar Embrapa 45 apresentou maior intervalo em relação a cultivar BRS Pala que obteve menor intervalo. Ao analisar o intervalo entre emergência e início do enchimento de grãos (Tabela 7) quando o alagamento ocorreu no estágio vegetativo foi observado um aumento de aproximadamente 9 dias. Quando cultivado na condição sem alagamento do solo, a cultivar Embrapa 45 apresentou maior intervalo entre emergência e início do enchimento de grãos que a cultivar Fundacep 59, já na condição com alagamento do solo a cultivar Embrapa 45 foi superior a cultivar BRS Pala.

O ciclo total apresentou interação entre manejo de água e cultivares. Não foram observadas alterações do ciclo total na cultivar BRS Pampa RR e nas linhagens PCL 06-08 e PCL 06-11, entre os manejos de cultivo. Para as demais cultivares, quando cultivadas em condições de alagamento do solo apresentaram maior intervalo entre emergência e maturação, em relação quando cultivadas sem alagamento do solo. Em valores absolutos houve aumento médio no período da emergência à maturação fisiológica de

aproximadamente 6 dias. 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 àquela condição (Serres & 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 sejam capazes de responder aos sinais ambientais, no caso da soja fotoperíodo, e formar o sinal e desenvolver os meristemas capazes de formar flores (Taiz & Zeiger, 2009), sendo a passagem do período vegetativo para o reprodutivo marcado pelo início do florescimento. Em condição de cultivo normal a duração do período vegetativo das cultivares tardias ficou entre 50 e 55 dias e quando submetidas ao alagamento do solo entre 54 e 63 dias. Trabalhando com característica 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.

No tocante ao intervalo entre emergência e o início do enchimento de grão (Tabela 8) quando o alagamento do solo foi no estágio reprodutivo, os resultados mostraram que houve acréscimo do intervalo em cerca de três dias. Nota-se também diferenças entre as cultivares em cada manejo de água, onde a cultivar CL 9920 apresentou o maior intervalo, sendo superior as cultivares CD 219, PCL 06 – 11, Fundacep 59 e BRS Pala, quando sob condições de alagamento do solo. Já para a análise do ciclo total das cultivares, podemos observar que o alagamento do solo provocou um aumento de aproximadamente dois dias, sendo que a cultivar mais afetada foi a Embrapa 45 que obteve o maior ciclo, porém não diferenciando da CL 9920.

O efeito do alagamento do solo no período vegetativo reduziu o crescimento das plantas, fato que foi mostrado pela redução do número de nós na haste principal no início da floração (Tabela 9). Foi observado diferença no número de nós entre a cultivar CD 219 RR e as cultivares CLBRS 9911 e PCL 06-08 que apresentaram, respectivamente, o menor e os maiores números de nós no início da floração, sendo que ambas cultivares não diferiram das demais.

Tabela 5. Redução do índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo tardio/semitemperado, 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. \*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cultivares	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BRS Pala	2,99 a	25,05 a	15,77 a	5,85 a
BRS Pampa RR	2,22 a	18,20 ab	13,16 a	3,82 a
CD 219 RR	2,88 a	17,28 ab	18,30 a	14,83 a
CL9920	0,48 a	19,62 ab	16,55 a	12,34 a
CLBRS 9911	2,34 a	19,91 ab	16,47 a	10,00 a
Embrapa 45	3,08 a	14,46 b	12,47 a	11,44 a
FT Abyara	-2,33 a	18,85 ab	18,57 a	9,66 a
Fundacep 59 RR	4,47 a	22,22 ab	20,26 a	12,18 a
PCL 06-08 RR	5,61 a	18,48 ab	12,12 a	7,30 a
PCL 06-11 RR	3,08 a	18,45 ab	11,70 a	9,12 a
Média	2,48	19,25	15,54	9,65
CV. (%)	161	15,6	24,6	43,4

Tabela 6. Redução do índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo tardio/semitemperado, 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. \*Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Cultivares	5 DAEA	12 DAEA	19 DAEA	33 DAEA
BRS Pala	2,39 a	1,88 a	3,41 a	6,98 a
BRS Pampa RR	2,07 a	1,12 a	4,82 a	8,75 a
CD 219 RR	2,13 a	-1,07 a	5,51 a	11,33 a
CL9920	1,56 a	4,94 a	3,69 a	8,34 a
CLBRS 9911	4,61 a	3,35 a	2,92 a	2,17 a
Embrapa 45 -Pirati	3,91 a	4,56 a	5,23 a	8,59 a
FT Abyara	3,47 a	-0,16 a	3,01 a	10,19 a
Fundacep 59 RR	6,08 a	7,08 a	7,24 a	8,18 a
PCL 06-08 RR	-2,34 a	4,05 a	6,25 a	10,29 a
PCL 06-11 RR	3,58 a	6,41 a	10,70 a	13,29 a
Média	2,74	3,21	5,28	8,81
CV. (%)	143	114	53,5	50,8

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 de ciclo tardio/semitemperado, 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. \*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.

Ciclo	VE - R1		VE - R5		VE - R7	
	SA	APV	SA	APV	SA	APV
CD 219 RR	54,3 ab	63,7 a	74,7 ab	87,0 ab	119,7 abc B	131,7 a A
BRS Pampa RR	54,7 ab	62,0 a	78,3 ab	83,7 ab	120,7 ab A	123,3 abc A
Embrapa 45	55,0 a	59,3 a	82,3 a	91,0 a	123,0 a B	128,7 abc A
CL 9920	52,7 bcd	61,3 a	80,3 ab	88,7 ab	118,0 bc B	124,7 abc A
CLBRS 9911	53,3 abc	59,7 a	79,7 ab	87,7 ab	118,0 bc B	126,0 abc A
PCL 06 - 08	51,3 cde	57,7 a	76,3 ab	83,0 ab	119,3 abc A	122,7 bc A
PCL 06 - 11	52,7 bcd	55,0 a	74,0 ab	81,0 b	118,3 bc A	119,0 c A
Fundacep 59	50,7 de	56,7 a	70,7 b	87,3 ab	109,7 b B	123,7 abc A
FT Abyara	51,7 cde	54,7 a	75,7 ab	85,7 ab	117,7 bc B	124,7 abc A
BRS Pala	50,3 e	54,3 a	73,3 ab	81,0 b	116,0 c B	122,0 bc A
Média	52,7 B	58,4 A	76,5 B	85,6 A	118,3	124,6
CV. (%)	4,4		5,0		9,8	

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 de ciclo tardio/semiotardio, 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. \*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.

Ciclo	VE – R5		VE – R7	
	SA	APR	SA	APR
CD 219 RR	74,7 ab	74,3 c	119,7 abc	119,3 bc
BRS Pampa RR	78,3 ab	78,0 abc	120,7 ab	120,3 bc
Embrapa 45	82,3 a	85,0 ab	123,0 a	129,0 a
CL 9920	80,3 ab	86,0 a	118,0 bc	122,3 ab
CLBRS 9911	79,7 ab	84,7 ab	118,0 bc	119,0 bc
PCL 06 – 08	76,3 ab	79,0 abc	119,3 abc	121,0 bc
PCL 06 – 11	74,0 b	77,0 bc	118,3 bc	118,3 bc
Fundacep 59	70,7 ab	74,3 c	109,7 d	114,3 c
FT Abyara	75,7 ab	79,0 abc	117,7 bc	117,7 bc
BRS Pala	73,3 ab	77,0 bc	116,0 c	115,7 bc
Média	76,5 B	79,4 A	118,0 B	119,7 A
CV. (%)		4,7		1,9

Tabela 9. Número de nós no início do florescimento (R1) e do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja de ciclo tardio/semiotardio, 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. \*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.

Ciclo	R1		R5	
	SA	APV	SA	APV
CD 219 RR	12,0 a	7,0 b	17,3 a A	8,0 b B
BRS Pampa RR	14,0 a	9,0 ab	17,0 a A	12,0 ab B
Embrapa 45	13,0 a	10,0 ab	17,3 a A	13,0 ab B
CL 9920	14,3 a	10,0 ab	19,0 a A	13,0 ab B
CLBRS 9911	13,0 a	11,3 a	19,3 a A	13,0 ab B
PCL 06 – 08	11,7 a	11,0 a	15,3 a A	13,3 ab A
PCL 06 – 11	12,3 a	9,0 ab	16,0 a A	14,7 ab A
Fundacep 59	13,7 a	8,7 ab	17,3 a A	11,7 ab B
FT Abyara	11,7 a	8,7 ab	16,3 a A	14,7 a A
BRS Pala	12,7 a	9,0 ab	16,0 a A	15,0 a A
Média	12,8 A	9,4 B	17,1 A	12,8 B
CV. (%)		11,1		11,1

Houve interação entre os fatores cultivares e manejo de água, para o número de nós na haste principal no início do enchimento de grãos. Entre as cultivares, quando em condições de alagamento, a cultivar CD 219 RR apresentou menor número de nós, em relação as cultivares FT Abyara e BRS Pala, sendo que ambas foram estatisticamente igual as demais. Quando analisado as cultivares em função dos manejos de água, observa-se que as cultivares PCL 06-08, PCL 06-11, FT Abyara e BRS Pala não sofreram influência do alagamento do solo. Esse resultado pode estar relacionado com características intrínsecas ao genótipo, expressas nas condições de cultivo em que o trabalho foi conduzido (Neto et al., 2009).

Em relação ao número de nós no início no enchimento de grãos, com alagamento do solo no período reprodutivo (Tabela 10) observa-se redução do número

de nós das cultivares, quando cultivadas com alagamento do solo. Não houve diferença entre as cultivares em cada manejo de água.

## CONCLUSÕES

O alagamento reduz o número de nós na haste principal, reduzindo a altura das plantas, sendo os efeitos mais acentuados quando o alagamento ocorre no estágio vegetativo.

Altura de planta indica que a cultivar CLBRS 9911 apresentam maior tolerância ao alagamento, já as cultivares CD 219 RR, Embrapa 45 e PCL 06 - 08 os menores. Os valores de índice do teor de clorofila indicam como mais promissor a cultivar FT-Abyara.

O alagamento do solo tanto no estágio vegetativo como no estágio reprodutivo, causa retardamento de ocorrência dos estádios fenológicos, bem como do ciclo total de cultivares de soja.

*Tabela 10. Número de nós no início do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja de ciclo tardio/semitardio, mantidas sob três 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. \*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.*

Ciclo	R5	
	SA	APV
CD 219 RR	17,3 a	14,7 a
BRS Pampa RR	17,0 a	16,0 a
Embrapa 45	17,3 a	16,3 a
CL 9920	19,0 a	16,0 a
CLBRS 9911	19,3 a	18,0 a
PCL 06 – 08	15,3 a	14,3 a
PCL 06 – 11	16,0 a	15,0 a
Fundacep 59	17,3 a	16,0 a
FT Abyara	16,3 a	14,7 a
BRS Pala	16,0 a	15,0 a
Média	17,1 A	15,6 B
CV. (%)	7,6	

## REFERÊNCIAS

Amarante, L., D. S. Colares, M. L. Oliveira, L. I. Zenzen, P. G. Badinelli & E. Bernardi. 2007. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*, 5: 906-908.

Cho, J. & T. Yamakawa. 2006. Effects on growth and seed yield of small seed soybean cultivars of flooding conditions in paddy field. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 51: 189-193.

Choi, W. G. & D. M. Roberts. 2007. Arabidopsis NIP 2;1: a major intrinsic protein transporter of lactic acid induced by anoxic stress. *Journal of Biological Chemistry*, 282: 24209-24218.

Colmer, T. D. 2003. Long – distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant, Cell and Environment*, 26: 17-36.

Drew, M. C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annual Reviews Plant Physiology Plant Molecular Biologist*, 48: 223-250.

Fehr, W. & R. H. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa.

Henshaw, T. L. 2005. Morphological adaptations of soybean in response to early season flood stress. Tesis. Agronomy Department, University of Florida, Gainesville, Estados Unidos. 105 pp.

Ishida, F. Y., L. E. M. Oliveira, C. J. R. Carvalho & J. D. Alves. 2002. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. *Ciência Agrotecnologia*, 26: 1152-1159.

Jackson, M. B. & T. D. Colmer. 2005. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*, 96: 501–505.

Jackson, M. B., K. Ishizawa & O. Ito. 2009. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany*, 103: 137–142.

Ladygin, V. G. 2004. The effect of root hypoxia and iron deficiency on the photosynthesis, biochemical composition, and structure of pea chloroplasts. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51: 28–40.

Ludwig, M. P., L. M. C. Dutra, O. A. Lucca Filho, L. Zabet, D. Uhry, J. I. Lisboa & A. Jauer. 2010. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e Roundup Ready™ em função da época e densidade de semeadura. *Ciência Rural*, 40: 759-767.

Mommer, L., J. P. M. Lenssen, H. Huber, E. J. W. Visser & H. De Kroon. 2006. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study of seven plant families. *Journal of Ecology*, 94: 1117–1129.

Neto, M. E. F., R. A. Pitelli, E. A. G. Basile & P. C. Timossi. 2009. Seletividade de herbicidas pós-emergentes aplicados na soja geneticamente modificada. *Planta Daninha*, 27: 345-352.

Pires, J. L. F., E. Soprano & B. Cassol. 2002. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 41-50.

Serres, B. J. & L. A. C. J. Voisenek. 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 313–39.

Schoffel, E.R., A.V. Saccol, P.A. Manfron & S.L.P. Medeiros. 2001 Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, 31: 7-12.

Shimamura, S., T. Mochizuki, Y. Nada & M. Fukuyama. 2002. Secondary aerenchyma formation and its relation to nitrogen fixation in root nodules of soybean plants (*Glycine max*) grown under flooded conditions. *Plant Production Science*, 5: 294–300.

Silva, C. A. S. & J. M. B. Parfitt. 2004. Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul. *Estação Experimental Terras Baixas – ETB, Embrapa Clima Temperado. Circular técnica N° 40. 10 pp.*

Taiz, L. & E. Zeiger. 2009. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre, Artmed. 848 pp.

Vantoai, T. T., S. T. Martin, S. K. Chase, K. Boru, V. Schimpke, A. F. Schmitthener & K. G. Lark. 2001. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. *Crop Science*, 41: 1247-1252.

Vartapetian, B. & M. Jackson. 1997. Plant adaptation to anaerobic stress. *Annals of Botany*, 79: 3–20.

Videmšek, U., B. Turk & D. Vodnik. 2006. Root aerenchyma – formation and function. *Acta Agriculturae Slovenica*, 87: 445–453.

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