

# Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori<sup>(1)</sup>, Enio Marchesan<sup>(1)</sup>, Ricardo De David<sup>(1)</sup>, Reimar Carlesso<sup>(1)</sup>, Mirta Teresinha Petry<sup>(1)</sup>, Gabriel Donato<sup>(1)</sup>, Alberto Cargnelutti Filho<sup>(1)</sup> e Marília Ferreira da Silva<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, nº 1.000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: gersonmss@yahoo.com.br, eniomarchesan@gmail.com, ricardodd13@hotmail.com, reimar.carlesso@gmail.com, mirta.petry@gmail.com, gabriel.donato@hotmail.com, alberto.cargnelutti.filho@gmail.com, mariliaf312@yahoo.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de plantio e irrigação suplementar em faixas sobre o rendimento de grãos de soja, em áreas com presença de camada compactada próxima à superfície do solo. Dois experimentos foram realizados em blocos ao acaso, em faixas, com quatro repetições, no Estado do Rio Grande do Sul. O experimento 1 foi realizado em Santa Maria, correspondente às safras de 2013/2014 e 2014/2015; e o experimento 2, em Formigueiro, na safra 2013/2014. Os tratamentos consistiram dos fatores A e D. O fator A considerou os seguintes sistemas de plantio: A1, semeadura com discos duplos desencontrados; A2, semeadura com disco ondulado de 12 ondas; A3, semeadura com haste sulcadora; A4, semeadura com haste sulcadora e um mecanismo de acomodação do solo; A5, semeadura em microcamalhão; e A6, escarificação do solo e semeadura com disco duplo desencontrado. O fator D consistiu de tratamentos com ou sem irrigação. Na safra 2014/2015, alterou-se o fator A4 por haste desencontrada a 5 cm da linha de semeadura. O experimento 2 constituiu-se apenas do fator A do experimento 1, sem o tratamento microcamalhão. Os sistemas com escarificação do solo e haste sulcadora são os que proporcionam maior rendimento de grãos. A irrigação realizada em condições de umidade do solo abaixo de 60% da capacidade de campo aumenta o rendimento de grãos.

Termos para indexação: *Glycine max*, áreas de várzea, camada compactada do solo, mecanismos da semeadora, nodulação.

## Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of planting systems and supplementary border irrigation on soybean yield in areas of a compacted layer in the soil subsurface. Two experiments were carried out in a randomized complete block design, in a factorial arrangement, with four replicates, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Experiment 1 was performed in Santa Maria, in the 2013/2014 and 2014/2015 growing seasons; and experiment 2 in Formigueiro, in the 2013/2014 crop season. The treatments consisted of factors A and D. Factor A considered the following planting systems: A1, sowing using double disks; A2, sowing using notched disks; A3, sowing using shanks; A4, sowing using shanks and soil accommodation mechanism; A5, raised bed system; and A6, deep tillage and sowing using double disks. Factor D consisted of irrigated or nonirrigated treatments. In the 2014/2015 growing season, factor A4 was changed using a shank at 5 cm from the seeding line. Experiment 2 consisted only of factor A of experiment 1, without the raised bed system. The systems with deep tillage and sowing using a shank provide higher soybean grain yield. Irrigation at soil moisture conditions lower than 60% of field capacity increases soybean grain yield.

Index terms: *Glycine max*, lowland areas, soil compaction, planter mechanism, nodulation.

### Introdução

A cultura da soja é uma importante alternativa para a rotação de culturas em áreas de várzeas cultivadas com arroz irrigado, pois contribui para a interrupção de ciclos de doenças e insetos-praga e melhora as condições físicas e químicas do solo (Thomas et al., 2000). Para a soja, utilizam-se herbicidas com

mecanismos de ação diferentes daqueles utilizados no arroz, o que contribui para o controle de plantas daninhas de difícil controle no arroz, especialmente o arroz-vermelho (Missio et al., 2010).

A maioria das áreas utilizadas para o cultivo do arroz irrigado pertence à classe Planossolos (Bamberg et al., 2009). Esses solos são mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais

leve, e contrastam abruptamente com o horizonte B, ou apresentam transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do horizonte A para o B, são adensados, geralmente com elevada concentração de argila, e de permeabilidade lenta ou muito lenta. Em áreas de várzeas, em condições de clima úmido, são considerados hidromórficos, com horizonte plânico e apresentam características de horizonte glei (Santos et al., 2013). Além disso, em consequência das práticas de preparo do solo para o cultivo do arroz irrigado, parte dessas áreas apresenta camada compactada, em média entre 7 e 17 cm de profundidade, que influencia a quantidade de macroporos (Valicheski et al., 2012), a porosidade total (Drescher et al., 2011) e as relações solo-ar-água. Em razão das características intrínsecas dessa classe de solos associada à presença de uma camada compactada, ocorrem estresses nas plantas de soja em anos de excesso e de déficit hídrico, com efeitos negativos sobre o crescimento das plantas e a fixação biológica de nitrogênio (Abreu et al., 2004), o que pode interferir no rendimento de grãos da cultura. Assim, é fundamental identificar alternativas para a minimização desses estresses, pois o êxito de culturas como a soja depende da adequação do ambiente de várzea às suas exigências agrônômicas (Verneti Junior et al., 2009). Em anos de excesso de chuvas, é necessário reduzir o tempo de estresse da planta por falta de oxigênio, especialmente na região de maior volume de raízes e nódulos, o que pode ser feito por meio de implementos agrícolas, para que as plantas possam apresentar melhor desempenho agrônômico. A escarificação do solo, ou o uso de diferentes mecanismos da semeadora, durante a operação de semeadura, a exemplo da haste sulcadora, tem apresentado efeitos positivos na descompactação do solo na linha de cultivo (Drescher et al., 2011). O sistema de implantação em microcamalhão, em que a água da irrigação é derivada para o sulco entre dois microcamalhões, é muito utilizado nos Estados Unidos, Ásia, Austrália e México, pois permite o cultivo de soja, milho, sorgo, algodão e trigo em áreas excessivamente úmidas e frias, com economia de água e excelentes rendimentos. Entretanto, no Brasil, essa prática é pouco utilizada pelos agricultores, pois não há informação suficiente sobre esse sistema, assim como sobre o uso de mecanismos da semeadora como disco duplo, disco ondulado e haste sulcadora, para implantação de culturas como a soja em área de várzea.

Informações sobre o uso da irrigação em faixas ou canteiros no cultivo da soja em várzea são escassas, em razão da ausência de pesquisas específicas sobre a rotação de culturas e sistemas de plantio em várzeas, com exceção do arroz. Consequentemente, estudos sobre o efeito da irrigação em soja, nessas áreas, são fundamentais, pois o estresse hídrico pode causar redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, diminuição da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência e abscisão das folhas (Ferrari et al., 2015), uma vez que a água é um dos principais fatores que afeta o rendimento de grãos de soja (Fernandes & Turco, 2003). De acordo com Zhang et al. (2015), a irrigação contribui para diminuir os impactos climáticos negativos, especificamente seca e calor extremos sobre a cultura da soja, e pode também minimizar parte dos efeitos causados pela camada compactada do solo (Kirnak et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de plantio e irrigação suplementar em faixas irrigadas, no rendimento de grãos de soja, em áreas com camada compactada próxima à superfície do solo.

## Material e Métodos

Dois experimentos foram realizados: o experimento 1, nas safras de 2013/2014 e 2014/2015, em Santa Maria, RS; e o experimento 2, na safra de 2013/2014, em Formigueiro, RS.

O experimento 1 foi realizado em área de várzea sistematizada, pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, em locais diferentes da área experimental nos dois anos. O solo em que foi realizado o experimento é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Santos et al., 2013). Na safra 2013/2014, este solo apresentava na camada de 0–20,0 cm, aos 60 dias antes da semeadura, os seguintes atributos físico-químicos: argila, 250 g kg<sup>-1</sup>; pH<sub>água</sub> (1:1), 5,4; P, 18 mg dm<sup>-3</sup>; K, 60 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 5,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 2,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e MO, 20,0 g kg<sup>-1</sup>. E, na safra de 2014/2015, este solo apresentava a seguinte composição: argila, 260 g kg<sup>-1</sup>; pH<sub>água</sub> (1:1), 5,4; P, 15,3 mg dm<sup>-3</sup>; K, 44 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 8,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 3,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e MO, 20,0 g kg<sup>-1</sup>. Nesta mesma época, na camada de 0,0–20 cm, o solo apresentava os valores médios na safra de 2013/2014: de densidade, 1,50 Mg m<sup>-3</sup>; porosidade total, 0,48 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; microporosidade,

0,36 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; e macroporosidade, 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Para a mesma camada, na safra 2014/2015, os seguintes valores médios foram encontrados: densidade, 1,53 Mg m<sup>-3</sup>; porosidade total, 0,40 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; microporosidade, 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; e macroporosidade, 0,09 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Aos dez dias antes da semeadura, com um penetrômetro digital Falker PLG1020 (Falker, Porto Alegre, RS, Brasil), o solo continha os seguintes valores de resistência à penetração: 0,2, 1,6, 2,1, 2,1, 1,9 e 1,7 MPa (safra 2013/2014) e 0,2, 3,0, 2,3, 2,1, 1,0, 0,6 MPa (safra 2014/2015), nas camadas do solo de 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25 e 25–30 cm de profundidade, respectivamente. A umidade volumétrica do solo, por ocasião da avaliação, era de 26 e 20%, para as safras 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente.

Para o experimento, utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 6x2, em faixas, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de fator A e fator D. O fator A abrangeu os seguintes sistemas de implantação: A1, semeadura com disco duplo desencontrado; A2, semeadura com disco ondulado de 12 ondas; A3, semeadura com haste sulcadora; A4, semeadura com haste sulcadora e mecanismo de acomodação do solo; A5, semeadura em microcamalhão; e A6, escarificação do solo e semeadura com disco duplo desencontrado. O fator D abrangeu os tratamentos com ou sem irrigação. Na safra 2014/2015, trocou-se o fator A4 por haste desencontrada a 5 cm da linha de semeadura.

O experimento 2 foi realizado em área com relevo suave-ondulado, e o solo foi classificado como Planossolo Háptico eutrófico típico, pertencente à unidade de mapeamento São Gabriel (Santos et al., 2013), com os seguintes atributos físico-químicos, aos 50 dias antes da semeadura, na camada de 0,0–20 cm: argila, 340 g kg<sup>-1</sup>; pH<sub>água</sub> (1:1), 5,2; P, 2,2 mg dm<sup>-3</sup>; K, 112 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 10,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 8,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e MO, 16 g kg<sup>-1</sup>. Aos dez dias antes da semeadura, na camada de 0,0–20 cm, o solo apresentava os seguintes valores: densidade, 1,60 Mg m<sup>-3</sup>; porosidade total, 0,36 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; microporosidade, 0,35 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; e macroporosidade, 0,03 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. O solo do experimento 2 apresentava, ainda, os seguintes valores de resistência à penetração: 0,3, 3,0, 1,8, 1,4, 1,2 e 1,3 MPa, nas camadas do solo de 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 20–25 e 25–30 cm de profundidade, respectivamente. Por ocasião

da avaliação de resistência à penetração, o solo apresentava 25,5% de umidade volumétrica média.

Para o experimento 2, utilizou-se um delineamento de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram os mesmos do experimento 1, para a safra 2013/2014, porém, sem o tratamento microcamalhão e irrigação.

A escarificação do solo no experimento 1, na safra de 2013/2014, foi realizada aos 45 dias antes da semeadura e, na safra de 2014/2015, aos 19 dias antes da semeadura. No experimento 2, a escarificação do solo foi realizada por ocasião da semeadura. A profundidade da escarificação do solo foi de 25 cm, e o espaçamento entre as hastes do escarificador, de 35 cm. As profundidades de trabalho da haste sulcadora, da haste sulcadora no sistema em microcamalhão, do disco duplo e do disco ondulado no solo foram aproximadamente de 18, 12, 10 e 8 cm, respectivamente.

A semeadura do experimento 1 foi realizada nos dias 7 e 14 de novembro de 2013 e 2014, respectivamente, com uma semeadora-adubadora pantográfica. Em decorrência de uma precipitação pluvial de 245 mm aos dois dias após a semeadura, na safra 2013/2014, realizou-se a ressemeadura do experimento no dia 26 de novembro de 2013. A semeadura do experimento 2 foi realizada no dia 5 de novembro de 2013. A cultivar de soja utilizada para ambos os experimentos foi a 'BMX Tornado RR (6863 RSF)', com 26 sementes m<sup>-2</sup>, com 0,5 m de distância entre linhas.

As sementes foram tratadas com fipronil (250 g L<sup>-1</sup>) e carbendazim + thiram (150 g L<sup>-1</sup> + 350 g L<sup>-1</sup>), à dose de 150 mL e 200 mL 100 kg<sup>-1</sup> de semente, respectivamente, e foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100g 50kg<sup>-1</sup> de semente). A adubação de base na safra de 2013/2014, para os experimentos 1 e 2, foi de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. No entanto, para o experimento 1, em razão da ressemeadura, utilizou-se mais 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Na safra de 2014/2015, a adubação de base foi de 13 kg ha<sup>-1</sup> de N, 55 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 87 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para cultura (Costamilan et al., 2012).

A irrigação com vazão média de 5 L s<sup>-1</sup> foi aplicada por superfície, em faixas irrigadas. No experimento 1, realizou-se uma irrigação na safra de 2013/2014, com

lâmina de irrigação de 55 mm, quando a umidade média do solo se encontrava em 58% da capacidade de campo (CC) à profundidade de 0–20 cm, no estádio V4 das plantas, e duas irrigações na safra de 2014/2015, das quais uma de 41 mm no estádio R3, e outra de 46 mm em R5, segundo escala de Fehr & Caviness (1977). A umidade do solo na camada de 0–20 cm, em R3 e R5, encontrava-se em 60,6 e 54,2% da CC, respectivamente. As unidades experimentais mediram 40x3 m e 60x3 m para os experimentos 1 e 2, respectivamente, com área útil de 15 m<sup>2</sup> cada.

Avaliou-se o conteúdo de oxigênio do solo à profundidade de 0–10 cm, durante todo o ciclo da cultura, por meio do medidor de oxigênio ICT-SOM (ICT International, Armidale, New South Wales, Austrália), com sensores de oxigênio modelo ICT-O<sub>2</sub> colocados na linha de semeadura. Avaliaram-se, ainda, a densidade (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) do solo, no estádio V6 das plantas. Para essa avaliação, coletaram-se amostras de solo das camadas de 0–10 e de 10–20 cm, na linha de semeadura da cultura, por meio de anéis volumétricos de 4,0 e 4,8 cm de altura e diâmetro, respectivamente. Após as coletas, as amostras de solo foram encaminhadas para laboratório e analisadas segundo as técnicas descritas por Donagema et al. (2011). A Ds foi determinada pelo método volumétrico, a PT foi assumida como a umidade de saturação, a Mi pelo método da mesa de tensão a 0,6 m, e a Ma pela diferença entre PT e Mi.

Realizou-se a média das duas camadas de solo, tendo-se obtido os resultados referentes a camada de 0–20 cm. As variáveis avaliadas nas plantas foram: estatura de plantas, área foliar, massa de matéria seca da parte aérea, número e massa de matéria seca de nódulos e rendimento de grãos. As cinco primeiras avaliações foram realizadas nos estádios V6 e R3, para ambos os experimentos, com exceção do índice de área foliar, que foi avaliado apenas no V6, e da nodulação das plantas que, no experimento 2, foi avaliada em R3.

Para avaliar a estatura das plantas, a área foliar, e a massa de matéria seca da parte aérea, coletou-se a parte aérea de cinco plantas em sequência, na linha de cultivo rente ao solo que, posteriormente, foram acondicionadas em embalagens de plástico e encaminhadas ao laboratório. Determinou-se a estatura das cinco plantas, com régua graduada, a área foliar em três plantas, por meio de medidor portátil

LI-3000C (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) e, em seguida, calculou-se o IAF conforme Radin et al. (2003). Após essas avaliações, a parte aérea das cinco plantas foi seca em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até a obtenção de massa constante.

Para a determinação da nodulação, coletou-se um monólito de solo de 40x40x20 cm (comprimento, largura e profundidade), com as raízes das cinco plantas, para avaliar o número de nódulos por planta, a viabilidade de nódulos e a massa de matéria seca dos nódulos, segundo metodologia de Vieira Neto et al. (2008). O rendimento de grãos foi avaliado ao final do ciclo (R8), a partir da parcela útil de 10 m<sup>2</sup>.

Os valores de precipitação pluvial para o experimento 1 foram obtidos da Estação Meteorológica Automática do 8° Disme/Inmet, localizada no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do experimento. Para o experimento 2, os dados de precipitação pluvial foram obtidos por pluviômetro AcuRite (AcuRite, Lake Geneva, WI, EUA), instalado a 200 m do experimento. Os resultados foram submetidos ao teste das pressuposições, do modelo matemático de normalidade e homogeneidade das variâncias. A análise da variância dos dados dos experimentos foi realizada pelo teste F. As médias dos fatores, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

A área em que foi realizado o experimento 1 apresentava resistência à penetração de 2,1 MPa na camada de 10–20 cm, na safra de 2013/2014, e de 3,0 MPa na camada de 5–20 cm, na safra de 2014/2015. Os sistemas de implantação influenciaram a qualidade física do solo no experimento 1 (Tabela 1). Os sistemas que utilizaram haste sulcadora na semeadora, o sistema em microcamalhão e a escarificação reduziram a densidade média do solo, na camada de 0–20 cm, e aumentaram a porosidade total e a macroporosidade do solo nessa mesma camada, na linha de semeadura, em comparação ao disco duplo e ondulado nas safras de 2013/2014 e 2014/2015. Os discos duplo e ondulado não foram eficientes em reduzir a camada compactada na linha de semeadura, o que está de acordo com os resultados obtidos por Drescher et al. (2011), em que o disco apresenta menor resposta de rompimento da camada compactada, fato associado ao menor efeito

em profundidade no solo. De acordo com Nunes et al. (2014), o emprego da haste sulcadora proporciona aumento da macroporosidade, da porosidade total e redução da densidade do solo e resistência à penetração da camada compactada na linha de cultivo.

Observou-se que os sistemas de implantação influenciaram a qualidade física do solo, com resposta no crescimento das plantas (estatura e massa de matéria seca da parte aérea). Em geral, o sistema com escarificação do solo, seguido dos sistemas com haste sulcadora e microcamalhão resultaram em maior estatura de plantas e massa de matéria seca da parte aérea, nos estádios V6 e R3, nas safras de 2013/2014 e de 2014/2015. Para o índice de área foliar (IAF), a

maior resposta observada no sistema com escarificação do solo, que proporcionou maior IAF. Além disso, houve maior número e matéria seca de nódulos no estádio V6 no sistema com escarificação do solo, na safra 2013/2014 (Tabela 2). Resultado semelhante ocorreu para a safra 2014/2015, em que houve maior número e massa de matéria seca de nódulos em V6 e R3, para esse sistema, seguido dos sistemas com haste sulcadora e em microcamalhão. A menor nodulação foi verificada no sistema de semeadura que utilizou disco duplo (safra 2013/2014) e no que utilizou disco duplo e disco ondulado (safra 2014/2015). Além disso, no sistema com disco duplo, houve maior inviabilização

**Tabela 1.** Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporos (Mi), macroporos (Ma), estatura de planta (E) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento das plantas, e índice de área foliar (IAF) no estádio V6, em consequência dos sistemas de corte da semadora e irrigação para a cultivar de soja 'BMX Tornado', Santa Maria, RS, safras 2013/2014 e 2014/2015, e Formigueiro, RS, safra 2013/2014<sup>(1)</sup>.

Sistemas de plantio	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	PT no V6 ----- (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )-----	Mi no V6 ----- (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )-----	Ma no V6 ----- (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )-----	E no V6 ----- (cm)-----	E no R3 ----- (cm)-----	MSPA no V6 ----- (g por planta)-----	MSPA no R3 ----- (g por planta)-----	IAF no V6 ----- (cm <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup> )-----
Experimento 1 em Santa Maria, safra 2013/2014									
Disco duplo (DD)	1,5	0,45	0,35	0,11	22,9c*	52,3ab	4,9bc	19,7ab	2,2b
Disco ondulado	1,5	0,46	0,34	0,12	23,7bc	52,8ab	4,5c	19,4ab	2,2b
Haste	1,4	0,50	0,34	0,16	26,7ab	51,4ab	5,8b	20,5ab	3,0ab
Haste + MAS	1,4	0,49	0,34	0,17	26,0abc	51b	5,4bc	17,8b	2,6b
Microcamalhão	1,4	0,50	0,33	0,17	26,4ab	50,4b	5,7bc	19,7ab	2,4b
Escarificado + DD	1,4	0,49	0,33	0,17	28,1a	56,8a	7,1a	23,1a	3,9a
Irrigação									
Com irrigação	-	-	-	-	28,2a	54,8a	6,4a	19,9 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>
Sem irrigação	-	-	-	-	23,0b	50,0b	4,7b	20,1	2,4
Média	-	-	-	-	25,6	52,4	5,55	20	2,7
CV (%)	-	-	-	-	7,1	4,4	13,0	14,0	13,7
Experimento 2 em Formigueiro, safra 2013/2014									
Disco duplo (DD)	1,5	0,43	0,35	0,08	16ns	40b*	3,2ab	14ab	2,4ab
Disco ondulado	1,5	0,41	0,37	0,06	16,2	37,7b	2,6b	11,8b	1,7b
Haste	1,3	0,50	0,34	0,16	15,7	44,7ab	3,5ab	19,0a	2,4ab
Haste + MAS	1,3	0,49	0,34	0,16	16,6	43,7ab	4,1ab	16,1ab	2,8ab
Escarificado + DD	1,3	0,48	0,35	0,16	19,1	49,2a	5,7a	15,4ab	3,8a
Média	-	-	-	-	16,7	43,1	3,3	15,3	2,6
CV (%)	-	-	-	-	10,4	7,3	29,6	16,3	17,4
Experimento 1 em Santa Maria, safra 2014/2015									
Disco duplo (DD)	1,6	0,37	0,32	0,06	12,2cd*	38,7c	2,7ab	12,4bc	0,4b
Disco ondulado	1,4	0,44	0,31	0,12	11,9d	37,9c	2,5b	9,9c	0,4b
Haste	1,3	0,50	0,31	0,17	14,1bc	42,2bc	3,0ab	11,7bc	0,5b
Haste desencontrada <sup>(2)</sup>	1,4	0,45	0,32	0,13	14,8ab	46,5b	3,1ab	15,1b	0,5b
Microcamalhão	1,4	0,44	0,31	0,13	14,1bc	47,2b	3,2ab	15,6b	0,6b
Escarificado + DD	1,4	0,47	0,31	0,17	16,6a	61,3a	3,9a	21,6a	1,0a
Média	-	-	-	-	13,9	45,7	3,0	14,4	0,6
CV (%)	-	-	-	-	6,4	4,7	18,7	14,7	19,7

<sup>ns</sup>Não significativo, nas colunas. \*Significativo a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup>Médias não seguidas de letras iguais minúsculas, nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>Haste desencontrada, utilizada a 5 cm da linha de semeadura. MAS, mecanismo de acomodação do solo.

de nódulos no estágio V6, em ambas as safras (Tabelas 2 e 3).

Este resultado está associado ao menor efeito de redução da camada compactada do solo por esses sistemas, na linha de semeadura, em comparação aos demais, visto que a nodulação e a fixação biológica de N são afetadas pela presença de camada compactada do solo (Siczek & Lipiec, 2011). Esses autores encontraram redução do número de nódulos por planta e redução da atividade da nitrogenase, em presença de camada compactada. Um dos efeitos indiretos da presença de camada compactada do solo sobre a fixação biológica de N ocorre pela redução do conteúdo de oxigênio no

solo, o que inviabiliza a respiração das raízes (Lanza et al., 2013). Além disso, a atividade da nitrogenase é altamente dependente da disponibilidade de oxigênio (Justino & Sodek, 2013). Assim, no presente experimento (Figura 1 A), observa-se que o conteúdo de oxigênio no solo, na safra de 2013/2014, foi menor na maioria dos meses de desenvolvimento das plantas, no sistema com disco duplo, em comparação ao sistema com haste sulcadora. Nesse contexto, uma das possíveis explicações para a maior nodulação no sistema com escarificação do solo, seguido dos sistemas com haste sulcadora e microcamalhão, é que esses sistemas tenham proporcionado maior conteúdo de oxigênio

**Tabela 2.** Número de nódulos por planta (NNP), massa matéria seca de nódulos por planta (MSNP) e percentual de nódulos inviáveis (NI), nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento da cultivar de soja 'BMX Tornado', em Santa Maria, RS, nas safras 2013/2014 e 2014/2015, e em Formigueiro, RS, na safra 2013/2014<sup>(1)</sup>.

Sistema de plantio	NNP		MSNP <sup>(2)</sup> (mg por planta)		Nódulos inviáveis <sup>(3)</sup> (%)	
	V6	R3	V6	R3	V6	R3
Experimento 1 em Santa Maria, safra 2013/2014						
Disco duplo (DD)	35,5d*	88,4 <sup>ns</sup>	100,6c	-	-	-
Disco ondulado	51,9bc	96,5	150,0b	-	-	-
Haste	53,6bc	86,1	192,4b	-	-	-
Haste + MAS	61,8ab	86,8	179,3b	-	-	-
Microcamalhão	42,3cd	102,9	169,2b	-	-	-
Escarificado + DD	71,0a	99,7	253,0a	-	-	-
Irrigação						
Com irrigação	54,7 <sup>ns</sup>	102,9 <sup>ns</sup>	193,3a	-	-	-
Sem irrigação	50,7	83,6	154,9b	-	-	-
Média	52,7	93,2	174,1	-	-	-
CV (%)	17,8	21,1	24,8	-	-	-
Experimento 2 em Formigueiro, safra 2013/2014						
Disco duplo (DD)	-	13,1b*	-	13,5b	-	4,2 <sup>ns</sup>
Disco ondulado	-	22,5ab	-	38,1b	-	9,6
Haste	-	29,8a	-	68,3ab	-	5,1
Haste + MAS	-	29,2a	-	132,6a	-	6,5
Escarificado + DD	-	28,1a	-	56,3ab	-	5,9
Média	-	24,5	-	61,8	-	6,3
CV (%)	-	18,2	-	61,0	-	44,1
Experimento 1 em Santa Maria, safra 2014/2015						
Disco duplo (DD)	15,0c*	54,5c	116,6b	461,1c	2,8a	5,2 <sup>ns</sup>
Disco ondulado	19,6bc	52,4c	122,2b	522,7c	0,8b	3,6
Haste	25,3b	79,9bc	222,2a	642,2bc	0,4b	4,0
Haste desencontrada <sup>(4)</sup>	25,6b	74,8bc	188,9ab	667,7bc	0,3b	4,3
Microcamalhão	22,0b	88,2b	175,0ab	760,0ab	1,0ab	2,3
Escarificado + DD	37,7a	126,4a	211,1a	946,7a	0,2b	4,1
Média	24,2	79,4	172,7	666,7	0,9	3,9
CV (%)	11,0	15,2	19,2	14,3	88,9	45,2

<sup>(1)</sup>Médias não seguidas de letras iguais minúsculas, nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>Houve interação entre os fatores para MSNP, em R3, e NI, em V6 e R3, na safra 2013/2014 para o experimento 1. <sup>(3)</sup>Não se realizou a avaliação no estágio V6. <sup>(4)</sup>Haste desencontrada, utilizada a 5 cm da linha de semeadura. <sup>ns</sup>Não significativo, nas colunas. \*Significativo a 5% de probabilidade. MAS, mecanismo de acomodação do solo.

no solo na linha de semeadura, em consequência do aumento da macroporosidade do solo, que auxilia a drenagem e a aeração do solo.

Além dos efeitos benéficos pelo uso dos sistemas com haste (escarificação do solo, semeadura com haste sulcadora e semeadura em microcamalhão com haste sulcadora) quanto à redução da camada compactada na linha de semeadura, o que melhorou a qualidade física do solo, o crescimento e nodulação das plantas, observou-se que a irrigação também é uma importante prática de manejo em soja cultivada em área com camada compactada. A realização da irrigação de 55 mm proporcionou maior estatura e massa de matéria seca da parte aérea. Ruviaro et al. (2011), também encontraram resposta significativa da irrigação, em comparação à testemunha sem irrigação, e encontraram correlação de 93% entre o volume de água aplicado e a estatura das plantas. De acordo com Ferrari et al. (2015), o estresse causado por déficit de água leva à ocorrência de plantas de soja pouco desenvolvidas, com pequena estatura e área foliar reduzida, pois uma das alterações provocadas pelo estresse hídrico é a redução do potencial hídrico foliar, que causa o fechamento estomático e, conseqüentemente, a diminuição das trocas gasosas e a inibição de vários processos bioquímicos e fisiológicos, como a fotossíntese, respiração, absorção de íons, metabolismo dos nutrientes, entre outros. Além disso,

a irrigação incrementou a massa de matéria seca de nódulos (Tabela 2), pois a nodulação é influenciada pelo conteúdo de água no solo (Siczek & Lipiec, 2011), e a fixação biológica de N é um processo metabólico muito sensível ao déficit de água em plantas de soja (Gil-Quintana et al., 2013; King et al., 2014).

A redução da camada compactada no solo na linha de semeadura, pelos sistemas com haste, impactou positivamente o rendimento de grãos de soja em ambas as safras. Na safra de 2013/2014 (Tabela 3), o sistema com escarificação do solo proporcionou maior rendimento do que o sistema com o disco duplo, o qual, em números absolutos, foi o sistema que apresentou o menor rendimento entre todos os testados. A escarificação do solo incrementou a produtividade em 10%. Na safra de 2014/2015, os resultados foram semelhantes aos da safra 2013/2014, em que o maior rendimento foi observado no sistema com escarificação do solo, seguido dos sistemas de semeadura com haste sulcadora, haste sulcadora desencontrada a 5 cm da linha de semeadura e microcamalhão, e os menores rendimentos de grãos ocorreram nos sistemas com disco ondulado e duplo. O sistema com escarificação do solo, seguido da semeadura com haste e haste desencontrada a 5 cm da linha de semeadura, proporcionaram rendimento 26, 15 e 12% superior ao do sistema com disco duplo.

**Tabela 3.** Massa de matéria seca de nódulos por planta (MSN), no estágio R3, percentual de nódulos inviáveis (NI), nos estádios V6 e R3 de desenvolvimento das plantas, e rendimento de grãos em consequência dos sistemas de corte da semadora e irrigação em Santa Maria, RS, safras 2013/2014 e 2014/2015, e em Formigueiro, RS, safra 2013/2014<sup>(1)</sup>.

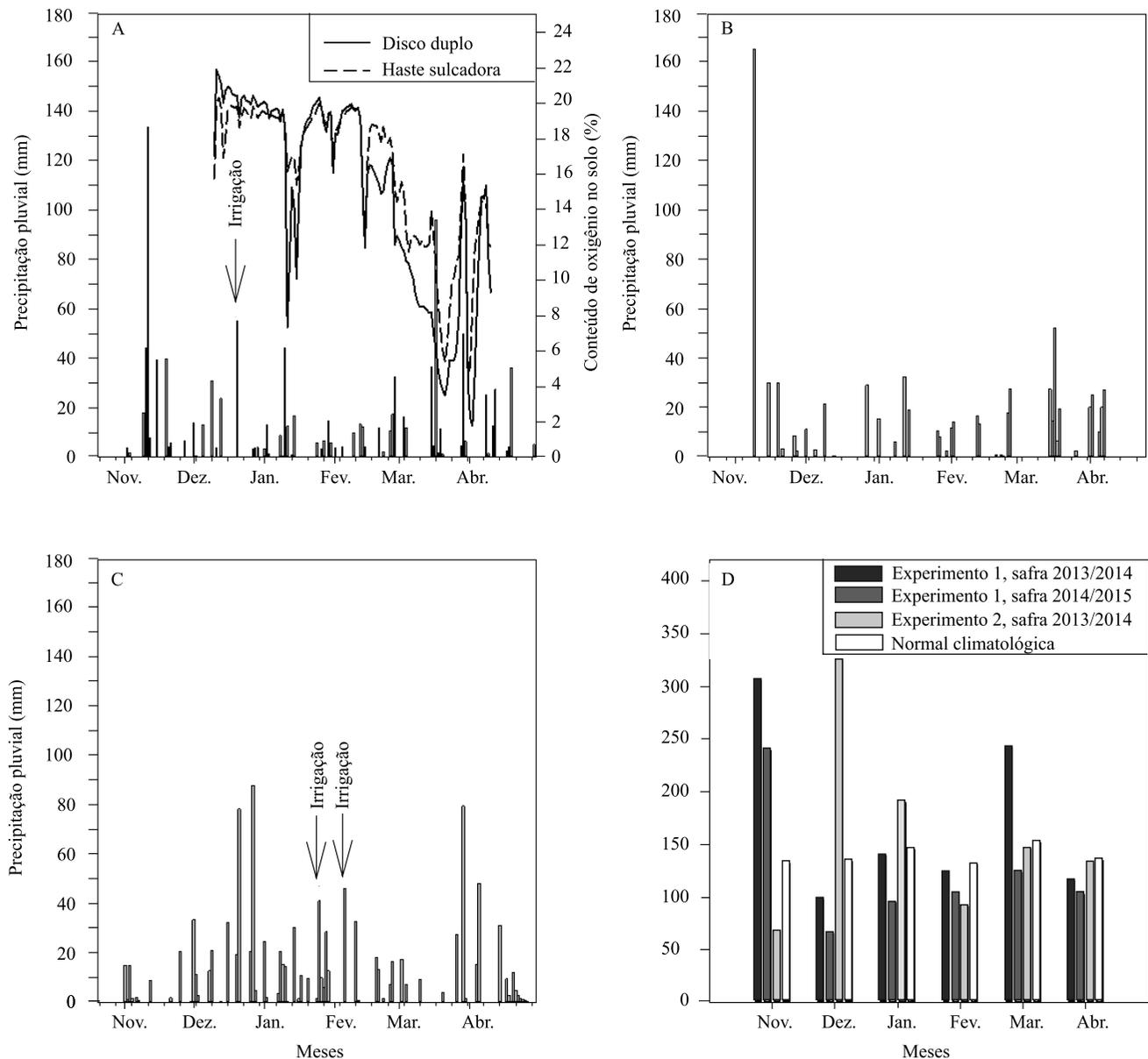
Sistema de plantio	MSN (mg por planta)		Nódulos inviáveis (%)				Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )		
	CI no R3	SI no R3	CI no V6	SI no V6	CI no R3	SI no R3	Santa Maria	Formigueiro	Santa Maria
	Experimento 1 em Santa Maria, safra 2013/2014						2013/2014	2013/2014	2014/2015
Disco duplo (DD)	352,2 <sup>NSc*</sup>	289,0 <sup>ab</sup>	3,4 <sup>B<sup>NS</sup></sup>	11,9 <sup>Aa</sup>	6,1 <sup>NSns</sup>	7,6 <sup>ns</sup>	4.082b	2.642c	3.759d
Disco ondulado	763,6 <sup>Aa</sup>	237,2 <sup>Bb</sup>	1,2 <sup>B</sup>	3,1 <sup>Ab</sup>	4,6 <sup>NS</sup>	3,8	4.273ab	2.867abc	3.829cd
Haste	591,1 <sup>Aab</sup>	438,3 <sup>Ba</sup>	1,7 <sup>NS</sup>	2,8 <sup>b</sup>	5,4 <sup>NS</sup>	6,7	4.405ab	2.970a	4.327b
Haste + MAS	591,1 <sup>Aab</sup>	296,6 <sup>Bab</sup>	1,2 <sup>NS</sup>	0,9 <sup>b</sup>	2,6 <sup>B</sup>	7,7 <sup>A</sup>	4.107b	2.917ab	-
Haste desencontrada <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	4.222b
Microcamalhão	526,7 <sup>NSbc</sup>	421,1 <sup>ab</sup>	2,0 <sup>NS</sup>	2,1 <sup>b</sup>	6,0 <sup>NS</sup>	4,9	4.345ab	-	4.013c
Escarificado + DD	570 <sup>Aab</sup>	306,6 <sup>Bab</sup>	2,8 <sup>NS</sup>	2,7 <sup>b</sup>	4,5 <sup>NS</sup>	4,2	4.484a	2.698bc	4.749a
Irrigação									
Com irrigação	-	-	-	-	-	-	4.444a	-	4.311a
Sem irrigação	-	-	-	-	-	-	4.121b	-	3.988b
Média	565,8	331,5	2,1	3,9	4,9	5,8	4.283	2.819	4.150
CV (%)		19,7		35,3		34,4	7,4	4,4	3,14

<sup>(1)</sup>Médias não seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>Haste desencontrada, utilizada a 5 cm da linha de semeadura. <sup>NS</sup>Não significativo, nas linhas; <sup>ns</sup>Não significativo, nas colunas. \*Significativo a 5% de probabilidade. MAS, mecanismo de acomodação do solo; CI, com irrigação; SI, sem irrigação.

A irrigação de 55 mm, realizada em V4, resultou em aumento de 10% no rendimento de grãos, na safra de 2013/2014, e 8% na safra de 2014/2015 quando foram aplicadas duas irrigações, de 41 mm e de 46 mm, nos estádio R3 e R5, respectivamente. A água é fundamental para que a planta expresse seu potencial de resposta a toda e qualquer tecnologia empregada, pois, segundo Ruviaro et al. (2011), o uso da irrigação está diretamente relacionado à expressão do potencial da cultura. Essa limitação ocorre porque a água está envolvida na maioria dos processos bioquímicos e

fisiológicos da planta (King et al., 2014; Du et al., 2015; Ferrari et al., 2015). Além disso, o aumento do rendimento de grãos, em consequência da irrigação, pode estar relacionado à maior nodulação das plantas, como foi verificado no presente estudo, pois a nodulação é um fator determinante no rendimento de grãos e está correlacionada a 40% do rendimento (Brandelero et al., 2009).

No experimento 2, a área em que foi realizado este estudo também apresentou uma camada compactada próxima à superfície do solo, caracterizada entre 5–5 cm,



**Figura 1.** Precipitação pluvial diária para o experimento 1 em Santa Maria, RS, nas safras 2013/2014 (A) e 2014/2015 (C), para experimento 2 em Formigueiro, RS, na safra 2013/2014 (B), precipitação pluvial mensal e normal climatológica para Santa Maria (D) e conteúdo de oxigênio no solo (A).

com valores de resistência do solo à penetração de até 3,0 MPa. Assim como observado nas duas safras de estudo no experimento 1, no experimento 2 também se observou efeito positivo dos sistemas com escarificação do solo e haste sulcadora sobre a redução da camada compactada na linha de semeadura. De acordo com os resultados, esses sistemas reduziram a densidade do solo e aumentaram a porosidade total e a macroporosidade média na camada de 0–20 cm (Tabela 1). Em razão disso, esses sistemas impactaram positivamente o crescimento, a nodulação e o rendimento de grãos.

No sistema com escarificação do solo, houve maior estatura de plantas em R3 e massa de matéria seca da parte aérea e índice de área foliar em V6 (Tabela 1). Além disso, nesse sistema e no sistema com haste sulcadora, as plantas apresentaram maior número e massa de matéria seca de nódulos. Diferentemente do experimento 1, no experimento 2 não se observou efeito da inviabilidade de nódulos. Isso pode ser atribuído às condições locais de solo de cada experimento, principalmente quanto ao relevo da área que, no experimento 1, é plano, e no experimento 2 é suavemente ondulado.

Para o rendimento de grãos, o uso da haste sulcadora na semeadora incrementou em 12% o rendimento em relação ao disco duplo (Tabela 3). Assim como observado no experimento 1, o menor rendimento de grãos ocorreu no sistema com disco duplo, como consequência de seu menor efeito de rompimento da camada compactada do solo, o que afetou o crescimento e a nodulação das plantas, que interfere na disponibilidade de N às plantas (Siczek & Lipiec, 2011).

No experimento 2, o sistema com escarificação do solo apresentou menor rendimento de grãos em comparação ao uso da haste sulcadora. A hipótese para isto é que a escarificação do solo foi realizada no mesmo dia da semeadura, que foi seguida de duas gradagens para a uniformização da área, fato que, somado a uma precipitação de aproximadamente 200 mm, durante um período de três dias após a semeadura, pode ter causado maior desestruturação do solo do que a semeadura com haste sulcadora.

No experimento 2 em Formigueiro, o rendimento de grãos foi menor do que no experimento 1 em Santa Maria. Isto pode ser atribuído à menor nodulação das plantas e também à menor precipitação pluvial para alguns meses, em comparação a Santa Maria (Figura 1

D), visto que a nodulação (Brandelero et al., 2009) e a disponibilidade de água estão diretamente relacionadas ao rendimento de grãos de soja (Ruviaro et al., 2011).

De acordo com os resultados obtidos nos dois experimentos e safras agrícolas, observa-se que há resposta diferenciada dos sistemas de implantação quanto à redução da camada compactada e ao rendimento de grãos de soja. Os sistemas com escarificação do solo, haste sulcadora e microcamalhão com haste sulcadora reduzem a densidade do solo, promovem o aumento da porosidade total e macroporosidade e incrementam o rendimento de grãos de soja em área com camada compactada. Na comparação com os sistemas com haste, verifica-se que o uso apenas dos mecanismos com disco duplo e disco ondulado de forma isolada não é eficiente na redução da camada compactada, pois apresentam o menor rendimento de grãos.

Assim, em áreas que apresentam camada compactada próxima à superfície do solo, principalmente nas áreas em rotação com a cultura do arroz irrigado, recomenda-se o uso de sistemas com haste, seja escarificação do solo, ou apenas uso da haste sulcadora na semeadora isolada ou, ainda, o sistema em microcamalhão, para que se tenha maior rendimento de grãos de soja. A irrigação suplementar em épocas de déficit hídrico, quando a umidade do solo se encontra abaixo de 60% da capacidade de campo, também é uma prática recomendada para minimizar os efeitos da camada compactada e do déficit hídrico, para promover aumento do rendimento de grãos da cultura da soja.

## Conclusões

1. O uso dos sistemas com escarificação do solo e haste sulcadora, na semeadura, proporcionam maior rendimento de grãos de soja, em áreas que apresentam camada compactada próxima à superfície do solo.

2. A irrigação suplementar por faixas, realizada em condições de umidade do solo abaixo de 60% da capacidade de campo, resulta em acréscimo no rendimento de grãos de soja.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs), por concessão de bolsas.

## Referências

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000300013.
- BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. de; SILVA, T.R. da. Densidade de um planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1079-1086, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500001.
- BRANDELERO, E.M.; PEIXOTO, C.P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, p.581-588, 2009. DOI: 10.5433/1679-0359.2009v30n3p581.
- COSTAMILAN, L.M.; CARRÃO-PANZINI, M.C.; STRIEDER, M.L.; BERTAGNOLLI, P.F. (Org.). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142p. (Embrapa Trigo. Documentos, 107).
- DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1713-1722, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000500026.
- DU, T.S.; KANG, S.Z.; ZHANG, J.H.; DAVIES, W.J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v.66, p.2253-2269, 2015. DOI: 10.1093/jxb/erv034.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special report, 80).
- FERNANDES, E.J.; TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v.8, p.132-141, 2003.
- FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A.C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v.3, p.67-77, 2015. DOI: 10.14583/2318-7670.v03n01a12.
- GIL-QUINTANA, E.; LARRAINZAR, E.; SEMINARIO, A.; DÍAZ-LEAL, J.L.; ALAMILLO, J.M.; PINEDA, M.; ARRESE-IGOR, C.; WIENKOOP, S.; GONZÁLEZ, E.M. Local inhibition of nitrogen fixation and nodule metabolism in drought-stressed soybean. **Journal of Experimental Botany**, v.64, p.2171-2182, 2013. DOI: 10.1093/jxb/ert074.
- JUSTINO, G.C.; SODEK, L. Recovery of nitrogen fixation after short-term flooding of the nodulated root system of soybean. **Journal of Plant Physiology**, v.170, p.235-241, 2013. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.10.006.
- KING, C.A.; PURCELL, L.C.; BOLTON, A.; SPECHT, J.E. A possible relationship between shoot N concentration and the sensitivity of N<sub>2</sub> fixation to drought in soybean. **Crop Science**, v.54, p.746-756, 2014. DOI: 10.2135/cropsci2013.04.0271.
- KIRNAK, H.; DOGAN, E.; ÇOPUR, O.; GOKALP, Z. Irrigation and yield parameters of soybean as effected by irrigation management, soil compaction and nitrogen fertilization. **Journal of Agricultural Sciences**, v.19, p.297-309, 2013.
- LANZA, L.N.M.; ROSSI, S.C.; SODEK, L. Adubação nitrogenada beneficia soja alagada. **Bragantia**, v.72, p.2-9, 2013. DOI: 10.1590/S0006-87052013005000011.
- MISSIO, E.L.; RUBIN, S. de A.L.; GABE, N.L.; OZELAME, J.G. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.16, p.23-29, 2010.
- NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.627-638, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000200027.
- RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N.A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I.A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1017-1023, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000900001.
- RUVIARO, C.; DORNELES, J.G.L.; SILVA, A.M.; BEN, C.A.V. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguarí-RS. **Perspectiva**, v.35, p.79-90, 2011.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil and Tillage Research**, v.114, p.50-56, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2011.04.001.
- THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F.; MENEZES, V.G. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, p.107-112, 2000.
- VALICHESKI, R.R.; GROSSKLAUS, F.; STURMER, S.L.K.; TRAMONTIN, A.L.; BAADE, E.S.A.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.969-977, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000900007.
- VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L.O.B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, p.37-42, 2009.

VIEIRA NETO, S.A.; PIRES, F.R.; MENEZES, C.C.E. de; MENEZES, J.F.S.; SILVA, A.G. da; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. de. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.861-870, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200040.

ZHANG, T.; LIN, X.; SASSENATH, G.F. Current irrigation practices in the central United States reduce drought and extreme heat impacts for maize and soybean, but not for wheat. **Science of the Total Environment**, v.58, p.331-342, 2015. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.004.

---

Recebido em 29 de maio de 2015 e aprovado em 30 de outubro de 2015