Edited with the trial version of
Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit:
www.foxitsoftware.com/shopping

Artigos Científicos Soja

Edited with the trial version of
Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit:
www.foxitsoftware.com/shopping

Sumário

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

Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea

Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas

Soybean tillage systems and physical changes in surface ayers of two albaqualf soils

Sistemas de implantação e irrigação afetam o rendimento de soja em rotação com o arroz irrigado

Sistemas de implantação e irrigação para o cultivo da soja em áreas de arroz

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

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

[(1)]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 deficit 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 agronômicas (Vernetti 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 agronômico. 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^{-1}; $pH_{água}$ (1:1), 5,4; P, 18 mg dm^{-3}; K, 60 mg dm^{-3}; Ca, 5,3 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg, 2,4 $cmol_c$ dm^{-3}; e MO, 20,0 g kg^{-1}. E, na safra de 2014/2015, este solo apresentava a seguinte composição: argila, 260 g kg^{-1}; $pH_{água}$ (1:1), 5,4; P, 15,3 mg dm^{-3}; K, 44 mg dm^{-3}; Ca, 8,3 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg, 3,1 $cmol_c$ dm^{-3}, e MO, 20,0 g kg^{-1}. 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^{-3}; porosidade total, 0,48 m^3 m^{-3}; microporosidade,

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

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 Háplico 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^{-1}; $pH_{água}$ (1:1), 5,2; P, 2,2 mg dm^{-3}; K, 112 mg dm^{-3}; Ca, 10,5 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg, 8,0 $cmol_c$ dm^{-3}; e MO, 16 g kg^{-1}. Aos dez dias antes da semeadura, na camada de 0,0–20 cm, o solo apresentava os seguintes valores: densidade, 1,60 Mg m^{-3}; porosidade total, 0,36 m^3 m^{-3}; microporosidade, 0,35 m^3 m^{-3}; e macroporosidade, 0,03 m^3 m^{-3}. 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^{-2}, com 0,5 m de distância entre linhas.

As sementes foram tratadas com fipronil (250 g L^{-1}) e carbendazim + thiram (150 g L^{-1} + 350 g L^{-1}), à dose de 150 mL e 200 mL 100 kg^{-1} de semente, respectivamente, e foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (100g 50kg^{-1} de semente). A adubação de base na safra de 2013/2014, para os experimentos 1 e 2, foi de 30 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O. No entanto, para o experimento 1, em razão da ressemeadura, utilizou-se mais 10 kg ha^{-1} de N, 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 20 kg ha^{-1} de K_2O. Na safra de 2014/2015, a adubação de base foi de 13 kg ha^{-1} de N, 55 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 87 kg ha^{-1} de K_2O. Os demais tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para cultura (Costamilan et al., 2012).

A irrigação com vazão média de 5 L s^{-1} 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^2 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_2 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^2.

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[(1)].

Sistemas de plantio	Ds ($g\ cm^{-3}$)	PT no V6	Mi no V6	Ma no V6	E no V6	E no R3	MSPA no V6	MSPA no R3	IAF no V6
		----------($cm^3 cm^{-3}$)----------			----------(cm)----------		--------(g por planta)--------		
				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[ns]	3,1[ns]
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[(2)]	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

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

de nódulos no estádio 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[(1)].

Sistema de plantio	NNP		MSNP[(2)] (mg por planta)		Nódulos inviáveis[(3)] (%)	
	V6	R3	V6	R3	V6	R3
			Experimento 1 em Santa Maria, safra 2013/2014			
Disco duplo (DD)	35,5d*	88,4[ns]	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[ns]	102,9[ns]	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[ns]
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[ns]
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[(4)]	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

[(1)]Médias não seguidas de letras iguais minúsculas, nas colunas, diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. [(2)]Houve interação entre os fatores para MSNP, em R3, e NI, em V6 e R3, na safra 2013/2014 para o experimento 1. [(3)]Não se realizou a avaliação no estádio V6. [(4)]Haste desencontrada, utilizada a 5 cm da linha de semeadura. [ns]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 deficit 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, consequentemente, 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 deficit 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 estádio 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[(1)].

Sistema de plantio	MSN (mg por planta)		Nódulos inviáveis (%)				Rendimento de grãos (kg ha^{-1})		
	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^{NS}c*	289,0ab	3,4B^{ns}	11,9Aa	6,1^{NSns}	7,6^{ns}	4.082b	2.642c	3.759d
Disco ondulado	763,6Aa	237,2Bb	1,2B	3,1Ab	4,6^{NS}	3,8	4.273ab	2.867abc	3.829cd
Haste	591,1Aab	438,3Ba	1,7^{NS}	2,8b	5,4^{NS}	6,7	4.405ab	2.970a	4.327b
Haste + MAS	591,1Aab	296,6Bab	1,2^{NS}	0,9b	2,6B	7,7A	4.107b	2.917ab	-
Haste desencontrada[(2)]	-	-	-	-	-	-	-	-	4.222b
Microcamalhão	526,7^{NS}bc	421,1ab	2,0^{NS}	2,1b	6,0^{NS}	4,9	4.345ab	-	4.013c
Escarificado + DD	570Aab	306,6Bab	2,8^{NS}	2,7b	4,5^{NS}	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

[(1)]Médias não seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. [(2)]Haste desencontrada, utilizada a 5 cm da linha de semeadura. ^{NS}Não significativo, nas linhas; ^{ns}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,

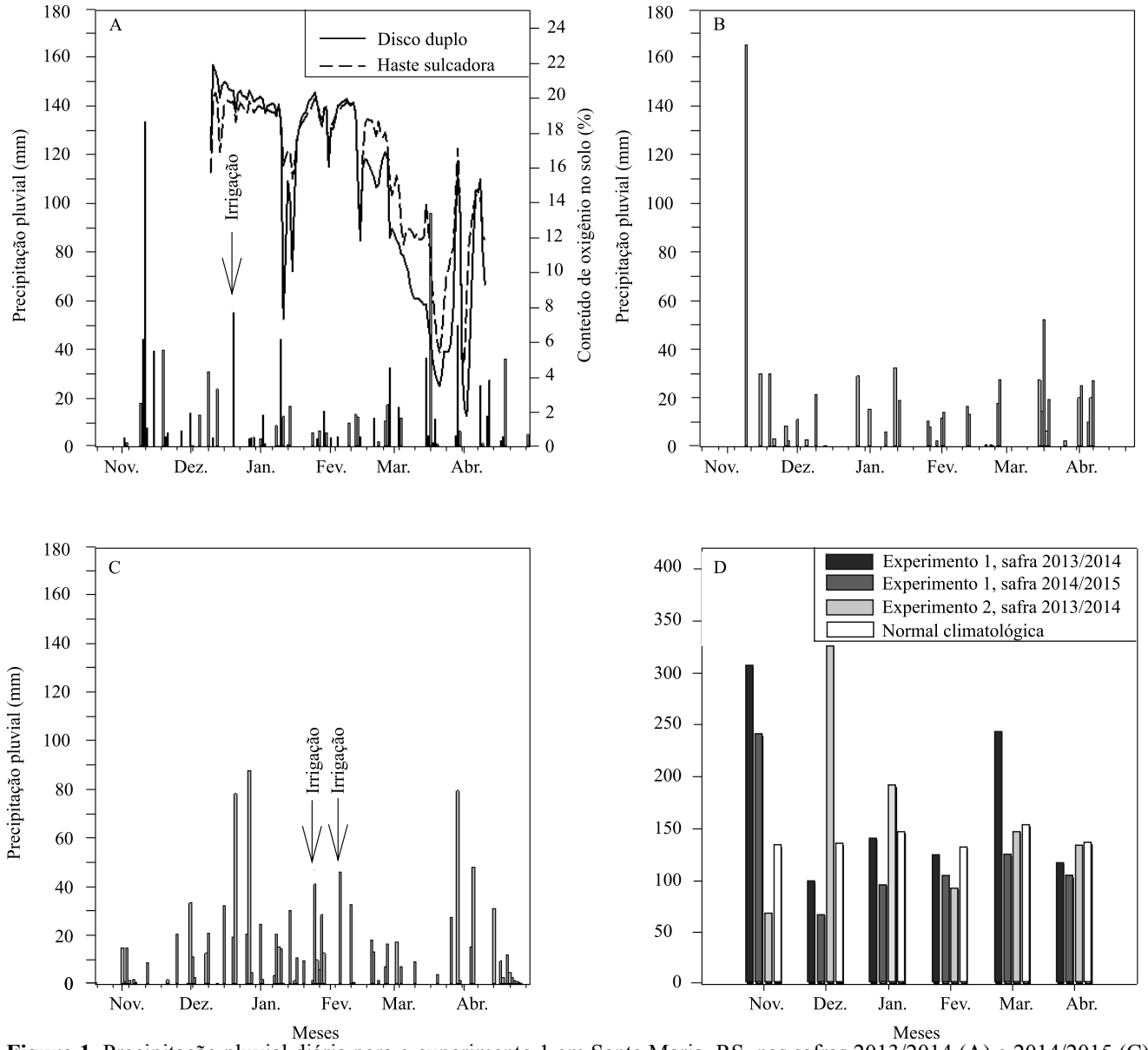

Figura 1. Precipitação pluvial diária para o experimento 1 em Santa Maria, RS, nas safras 2013/2014 (A) e 2014/2015 (C), para experimento 2 em Formigueiro, RS, na safra 2013/2014 (B), precipitação pluvial mensal e normal climatológica para Santa Maria (D) e conteúdo de oxigênio no solo (A).

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 deficit 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 deficit 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).

DONAGEMA, 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 semeaduras 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_2 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 Jaguari-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.; SASSENRATH, 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

Ciência Rural, Santa Maria, Online http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150676
ISSN 0103-8478

Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea

Soil tillage systems and seeding on grain yield of soybean in lowland area

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori[1*] Enio Marchesan[1] Ricardo De David[1] Gabriel Donato[1] Lucas Lopes Coelho[1] Núbia Pentiado Aires[1] Bruno Behenck Aramburu[1]

RESUMO

A presença de camada compactada próxima à superfície do solo e a variabilidade das propriedades químicas do solo podem afetar o rendimento de grão de soja. Com o trabalho, objetivou-se avaliar a influência de sistemas de preparo do solo e de semeadura e de locais de cultivo (áreas de corte e aterro) no rendimento dessa cultura. O experimento foi realizado na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, nas safras 2013/14 e 2014/15. O delineamento foi blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas. As parcelas principais foram: área de corte (A1) e área de aterro (A2). As subparcelas foram os tipos de preparo do solo e de semeadura: com escarificação do solo e semeadura utilizando disco duplo na semeadora (D1); sem escarificação do solo e semeadura utilizando haste sulcadora na semeadora (D2); sem escarificação do solo e semeadura utilizando disco duplo na semeadora (D3). A cultivar utilizada foi a BMX Tornado. O tratamento com escarificação e haste sulcadora reduziu a resistência do solo à penetração e proporcionou maior teor de Mg e S no tecido foliar na safra 2013/14; e de N, P, K, Ca, Mg e S, em 2014/15. Esse tipo de preparo de solo possibilita maior rendimento de grão de soja sem diferenças entre as áreas de corte e de aterro.

Palavras-chave: *compactação do solo, área de aterro, haste sulcadora, escarificação do solo.*

ABSTRACT

The presence of soil compaction next to the soil surface and the variability of soil chemical properties can affect the soybean yield. The objective was to evaluate the influence of soil tillage systems and seeding on two sites area (cut and fill) on soybean grain yield. The experiment was conducted in lowland area of the Federal University of Santa Maria in 2013/14 and 2014/15 harvest. The design was a randomized block with four replications, with split plots. The main plots: the cuts area (A1) and fills area (A2). The subplots were tillage systems and seeding: deep tillage (D1); planter using shank (D2); planter using double disc (D3). The cultivar used was BMX Tornado and sowing on November 26 and 14 from 2013 and 2014, respectively. The treatment with deep tillage and planter using shank reduced the penetration resistance and provided greater content of Mg and S on 2013/14 and N, P, K, Ca, Mg e S on 2014/15. Those systems enables higher soybean yield, without difference between cut and fill area.

Key words: *soil compaction, fill area, shank, deep tillage.*

INTRODUÇÃO

O cultivo de soja em rotação com o arroz irrigado nas áreas de várzea teve um avanço signi f cativo nas últimas safras, ultrapassando a 300 mil hectares na safra de 2014/15 (IRGA, 2014). No entanto, devido a alguns atributos físicos naturais dos solos nessas áreas e relevo predominantemente plano, o cultivo da soja pode ser prejudicado.

Destaca-se o hidromor f smo (BORGES et al., 2004) que, somado ao relevo plano, di f culta a drenagem de água (MARCHEZAN et al., 2002). Com isso, principalmente em anos de El Ninõ, em função da di f culdade de drenagem, o crescimento e desenvolvimento de culturas ditas de sequeiro como a soja pode ser prejudicado nessas áreas. Além disso, em função das operações de preparo da área para o cultivo do arroz, tem-se veri f cado a presença de uma camada compactada próxima à superfície do solo, causando aumento da densidade

[1]Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: gersonmss@yahoo.com.br. *Autor para correspondência.

Recebido 11.05.15 Aprovado 17.08.15 Devolvido pelo autor 23.10.15
CR-2015-0676.R1

do solo e redução da macroporosidade e porosidade total (MENTGES et al., 2013). Com isso, ocorre aumento da resistência do solo à penetração (SPERA et al., 2012), modificando a habilidade das raízes em extrair água e nutrientes (CALONEGO et al., 2011), podendo, com isso, interferir no rendimento de grãos das plantas. Além disso, muitas áreas de várzeas são sistematizadas, e esse processo causa desuniformidade nos atributos físico-químicos do solo entre as áreas de corte e aterro (MARCHEZAN et al., 2001). De acordo com REICHERT et al. (2008), a heterogeneidade dos atributos do solo afeta diferenciadamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas.

Dessa forma, com a presença de uma camada compactada próximo à superfície do solo, somado à desuniformidade que pode ocorrer dos atributos físico-químicos do solo em função da sistematização das áreas de várzeas, o cultivo da soja em rotação com o arroz irrigado pode ser prejudicado. Assim, é fundamental identificar alternativas como sistemas de preparo do solo e de semeadura que proporcionem maior rendimento de grãos de soja em áreas de várzea, além de identificar se há diferenças no rendimento de grãos entre as áreas de corte e aterro, para auxiliar no manejo da cultura nessas áreas. Em função disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a influência de sistemas de preparo de solo, de semeadura e de locais (corte e aterro) sobre rendimento de grãos de soja em área de várzea sistematizada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas safras de 2013/14 e 2014/15 na área experimental de várzea sistematizada da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013). Na safra de 2013/14, o experimento foi realizado em área que na safra anterior havia a cultura da soja e, na safra de 2014/15, havia a cultura do arroz irrigado anteriormente à realização do experimento. Os valores dos seguintes atributos físico-químicos do solo, aos 60 dias antes da semeadura, correspondiam a: argila = 25 a 26%; $pH_{água}$ = 5,4 a 5,4; P = 18 a 15,3mg dm^{-3}; K = 60 a 44mg dm^{-3}; Ca = 5,3 a 8,3$cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 2,4 a 3,1$cmol_c$ dm^{-3} e M.O. = 2,0 a 2,0%, nas safras 2013/14 e 2014/15, respectivamente. Esses resultados foram obtidos em análises no laboratório de análises de solo (LAS) da UFSM conforme metodologia de TEDESCO et al. (1995).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. O arranjo dos fatores foi em parcelas subdivididas. A sistematização da área foi realizada há quinze anos, com profundidade de corte máxima de 30cm. A parcela principal foi composta pelos locais: área de corte (A1) e área de aterro (A2). As subparcelas foram os sistemas de preparo do solo e de semeadura: com escarificação do solo e semeadura utilizando disco duplo na semeadora (D1); sem escarificação do solo e semeadura utilizando haste sulcadora na semeadora (D2); sem escarificação do solo e semeadura utilizando disco duplo na semeadora (D3).

A escarificação do solo foi realizada aos 45 e 19 dias antes da semeadura, na safra de 2013/14 e 2014/15, respectivamente, na profundidade de 25cm. A profundidade de trabalho da haste sulcadora e do disco duplo desencontrado no solo foi aproximadamente de 18 e 10cm, respectivamente. A semeadura foi realizada no dia 7 e 14 de novembro de 2013 e 2014, respectivamente, utilizando uma semeadora adubadora pantográfica. Devido a uma precipitação pluvial de 245mm distribuídos em quatro dias, iniciando aos dois dias após a semeadura, o experimento foi ressemeado no dia 26 de novembro de 2013 (safra 2013/14). A cultivar de soja utilizada foi a BMX Tornado, que possui hábito de crescimento indeterminado. Foram distribuídas 26 sementes por m^{-2}. O espaçamento entre linhas foi de 0,5m.

A adubação de semeadura foi de 30kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 60kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60kg ha^{-1} de K_2O. Em função da ressemeadura, utilizaram-se mais 10kg ha^{-1} de N, 20kg ha^{-1} de P_2O_5 e 20kg ha^{-1} de K_2O (safra 2013/14). Na safra de 2014/15, essa adubação foi de 13N, 54kg ha^{-1} de P_2O_5 e 86kg ha^{-1} de K_2O. Optou-se pela utilização de N na semeadura, pois os alagamentos frequentes e a presença de camada compactada poderiam limitar o conteúdo de oxigênio do solo e, consequentemente, a nodulação. Além disso, não há informação suficiente na literatura sobre o uso ou não de fertilizantes nitrogenados na semeadura da cultura da soja para o ambiente de várzea. Os demais tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para cultura (EMBRAPA, 2012).

Aos 10 dias antes da semeadura, realizou-se avaliação da resistência do solo à penetração, para caracterizar a profundidade da camada compactada na área. Essa avaliação também foi realizada aos 2 e 15 dias após a semeadura, na linha de cultivo, visando identificar o efeito do rompimento de parte dessa camada, em cada sistema, nas safras de 2013/14 e 2014/15, respectivamente. Essa avaliação foi na profundidade de até 30cm, utilizando penetrômetro digital da marca Falcker, modelo PLG 1020. A densidade do solo e a porosidade foram realizadas 10

dias antes da semeadura, na camada de 0-10 e de 10-20cm, conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico. A porosidade total (Pt) foi calculada a partir da densidade do solo (Ds) e a macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Avaliaram-se os seguintes atributos das amostras de solo: pH $_{água}$; cálcio (Ca); magnésio (Mg); Sat Bases; matéria orgânica (M.O.); enxofre (S); fósforo (P); CTC pH7; potássio (K); cobre (Cu); Zinco (Zn) e boro (B) conforme TEDESCO et al. (1995). As amostras foram coletadas nas áreas de corte e aterro, no estádio R2 da soja, segundo escala de FEHR & CAVINESS (1977). As coletas foram realizadas com pá de corte, na camada de 0-20cm e na entrelinha de semeadura. Para amostragem do solo, foram utilizadas 12 repetições em cada local, na safra de 2013/14 e quatro repetições, na safra de 2014/15. Nas plantas, avaliaram-se os teores dos nutrientes N; P; K; Ca; Mg; e S no estádio R2, segundo escala de FERHR & CAVINESS (1977). Coletou-se o terceiro trifólio completamente expandindo, da haste principal, do ápice para a base, de 15 plantas consecutivas em cada parcela. As amostras foram encaminhadas para o laboratório de Ecologia Florestal da UFSM para análise dos nutrientes, conforme metodologia de TEDESCO et al. (1995) e MIYAZAWA et al. (1999).

Os parâmetros avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância dos dados dos experimentos foi realizada com teste F. As médias dos locais (área de corte e aterro), quando significativas, foram comparadas pelo teste t bilateral, a 5% de probabilidade de erro; e as médias dos sistemas de preparo do solo e de semeadura foram comparadas pelo teste Tukey, utilizando esse mesmo nível de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área em que foi realizado o experimento tinha valores limitantes (<10%) de macroporos e elevada relação de micromacroporos, até os 20cm de profundidade (Tabela 1). Além disso, os valores de densidade do solo eram elevados (superior a 1,65g cm^{-3}), principalmente na área de corte e na camada de 10-20cm nas safras de 2013/14 e 2014/15.

As áreas de corte e de aterro da camada de 8-17cm na safra de 2013/14 (Figuras 1A, B) e dos 5-17cm da safra de 2014/15 (Figuras 1C, D) tiveram valores de resistência do solo à penetração maior que 2,0MPa. Na área de corte, registraram-se valores médios de 0,8 e 0,3MPa superiores à área de aterro, na safra de 2013/14 e 2014/15, respectivamente, nessa camada de solo. Isso pode estar relacionado aos valores mais acentuados de densidade do solo, pois ORTIGARA et al. (2014) encontraram aumento exponencial e positivo da resistência à penetração, com o aumento dos valores de densidade do solo.

Os sistemas de preparo do solo e de semeadura, em ambos os locais e safras, responderam de forma diferenciada quanto à redução da resistência do solo à penetração na linha de semeadura. O sistema com escarificação do solo utilizando o disco duplo no momento da semeadura e a semeadura utilizando haste sulcadora reduziram os valores de resistência do solo à penetração a valores menores que 1,5MPa, até os 15cm de profundidade. Já a semeadura com disco duplo, em área sem escarificação do solo, proporcionou menor redução da resistência, mantendo a camada compactada na linha de semeadura, visto que a resistência à penetração tem sido amplamente utilizada em avaliações do estado de compactação dos solos (FLORES et al., 2007). De acordo com TAYLOR et al. (1966), valores de resistência à penetração do solo maior de 2,0MPa são considerados limitantes ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. O menor efeito do disco duplo está associado a pouca ação em profundidade desse sistema no solo, que foi de aproximadamente 10cm, em comparação aos 25 e 18cm para a escarificação e haste sulcadora na semeadora, respectivamente.

De acordo com os resultados dos atributos físico-químicos do solo quando as plantas estavam em R2 (Tabela 1), a faixa de interpretação dos teores de Cu, Zn, B, Ca, Mg e S é alto, e médio, para o K, em ambas as safras e locais, com exceção do B, que estava médio na safra 2013/14. Os teores de P do solo, nas safras 2013/14 e 2014/15, estavam muito alto e médio, respectivamente. De maneira geral, os teores dos nutrientes Ca, Mg, S, P, K, Cu e Zn (safra 2013/14), B e P (safra 2014/15) da área de aterro foram superiores, em relação à área de corte. Segundo MARCHEZAN et al. (2001), o processo de sistematização causa desuniformidade nas características físico-químicas do solo entre as áreas de corte e aterro, principalmente nos primeiros anos de cultivo nessas áreas.

Em relação aos resultados apresentados na tabela 2, não houve interação entre os fatores de estudo. A análise dos teores de macrocronutrientes no tecido foliar das plantas em R2, na safra de 2013/14, indicou maior teor de Ca na área de aterro e de N

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporos (Mi), macroporos (Ma) e relação Mi/Ma, na área de corte (AC) e aterro (AA), em duas camadas do solo e atributos químicos do solo da área de corte e de aterro, no estádio R2, nas safras de 2013/14 e 2014/15. Santa Maria, RS. 2015.

Local	Camada (cm)	Ds (g cm^{-3})	Pt (%)	Mi (%)	Ma (%)	Mi/Ma
Safra 2013/14						
AC	0 -10	1,52	48	39	9	4:1
	10 - 20	1,67	43	35	8	5:1
AA	0 -10	1,40	52	41	11	4:1
	10 - 20	1,66	43	35	9	4:1
Safra 2014/15						
AC	0 -10	1,61	39	34	5	7:1
	10 - 20	1,70	37	32	5	5:1
AA	0 -10	1,56	37	30	6	5:1
	10 - 20	1,62	33	31	7	4:1

Local	pH água 1:1	Ca	Mg	Sat Al	Sat Bases	MO	S
		cmol$_c$ dm^{-3}			%		mg dm^{-3}
Safra 2013/14							
AC	5,3	8,1	3,5	1,7	79,1	1,4	10,5
AA	5,1	8,5	3,6	2,0	76,3	1,8	18,2
Safra 2014/15							
AC	5,8	8,8	3,9	0,0	81,9	1,5	23
AA	5,3	6,6	2,8	3,0	63,7	1,8	10

Local	P mg dm^{-3}	CTCpH7cmol$_c$ dm^{-3}	K	Cu	Zn	B
				mg dm^{-3}		
Safra 2013/14						
AC	11,1	14,8	55,0	1,3	0,6	0,2
AA	27,8	16,1	70,0	1,4	1,1	0,2
Safra 2014/15						
AC	6,0	15,7	76,0	1,8	1,1	0,4
AA	10,9	15,1	72,0	1,7	1,0	0,5

na área de corte. Entre os sistemas de preparo e de semeadura, verificaram-se maiores teores de Mg e de S nos sistemas com haste sulcadora e com escarificação do solo. Na safra de 2014/15, verificou-se maior teor de Ca e de Mg no tecido foliar da área de corte, em relação à área de aterro, não ocorrendo diferenças com os demais macronutrientes. A análise foliar indicou maior teor dos macronutrientes no sistema com escarificação do solo, seguido com semeadura utilizando haste sulcadora, que proporcionou maior teor de N, Ca e de Mg, em comparação ao disco duplo.

O menor teor de alguns nutrientes verificado no tecido foliar da área de aterro pode estar associado ao efeito de diluição, em função da maior massa seca das plantas nesse local que foi 21,3 e 17,0mg planta^{-1}, em comparação as das área de corte, que foi de 20,5 e 16,7mg planta^{-1}, nas safras 2013/14 e 2014/15, respectivamente (resultados não apresentados).

A maior redução da camada compactada do solo na linha de semeadura para o sistema com escarificação e semeadura utilizando haste sulcadora, em comparação ao disco duplo, como indicam os resultados de resistência à penetração, podem explicar o maior teor de macronutrientes do tecido foliar dos dois primeiros sistemas. DRESCHER et al. (2011), avaliando efeito do disco duplo e da haste sulcadora, verificaram que esse último é eficiente em aumentar a macroporosidade e diminuir a microporosidade e a densidade do solo, o que pode explicar os resultados encontrados. Em trabalho realizado por SOUZA et al. (2012), o aumento da compactação do solo reduziu o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e de S das plantas de soja. Com o aumento da compactação, ocorre aumento da resistência mecânica ao crescimento das raízes, limitação da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes (GOEDERT et al., 2002).

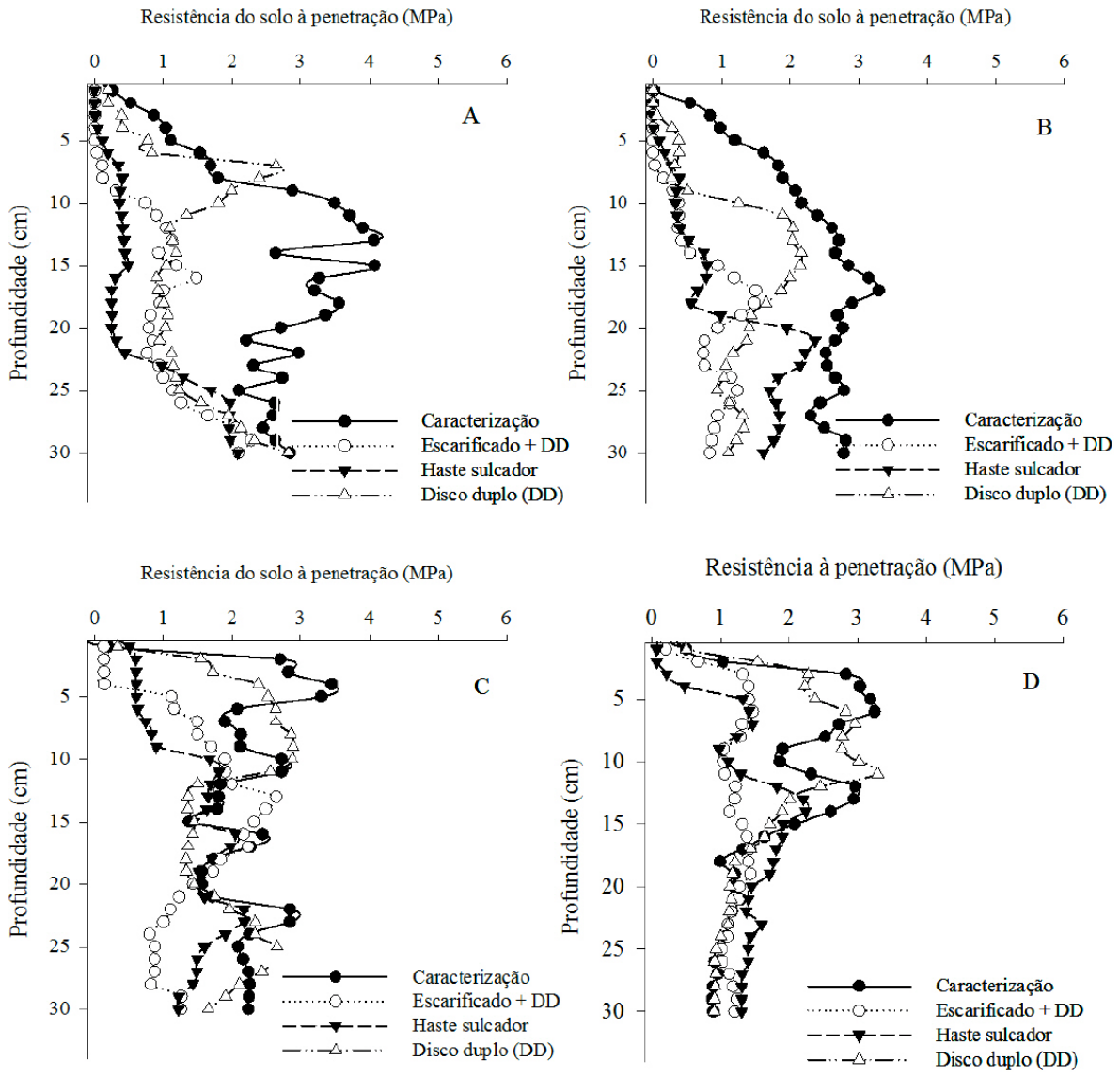

Figura 1 - Resistência do solo à penetração aos 10 dias antes da semeadura (caracterização das áreas) e aos dois dias após a semeadura nos diferentes sistemas de preparo do solo e de semeadura na área de corte (A) e na área de aterro (B) para safra de 2013/14; aos 15 dias após semeadura na safra de 2014/15 na área de corte (C) e aterro (D). Santa Maria, RS, 2015. A umidade volumétrica média do solo na camada de 0 a 20cm de profundidade, no momento da avaliação de caracterização da área, e nos sistemas Escarificado + DD; Haste sulcadora e Disco duplo (DD) foram de 31; 32; 32 e 35% (safra 2013/14) e 28; 30; 25 e 34% (safra 2014/15), respectivamente.

Na safra 2013/14, os teores de macronutrientes das plantas no estádio R2 são adequados para o desenvolvimento das plantas de soja (CQFSRS/SC, 2004). No entanto, na safra 2014/15, somente o teor de K do sistema com escarificação e de Ca e de Mg, para os três sistemas, foram adequados.

Apesar da área de aterro, de forma geral, ser caracterizada por melhor fertilidade química, isso não se refletiu no rendimento de grão nas duas safras avaliadas. Uma hipótese para isso é a distribuição regular das chuvas que, associado à adubação realizada para o nível de rendimento obtido, atendeu às necessidades da planta em ambas as áreas. Os sistemas com escarificação do solo e haste sulcadora proporcionaram maior rendimento de grãos em comparação ao disco duplo em área sem escarificação do solo. Esses sistemas tiveram rendimento de 9 e 12%, respectivamente, superior ao disco duplo (safra 2013/14) e 10 e 22%, respectivamente, superior ao disco duplo (safra 2014/15). Isso está relacionado à maior redução da resistência à penetração do solo por esses sistemas

Tabela 2 - Teor de macronutrientes do tecido foliar das plantas de soja no estádio R2 e rendimento de grão, em função dos sistemas de preparo do solo e de semeadura na área de corte (AC) e aterro (AA), nas safras de 2013/14 e 2014/15. Santa Maria, RS. 2015.

Sistemas[1]	Macronutrientes (g kg^{-1})					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	Safra 2013/14					
DD	49,19 ^{ns}	3,62 ^{ns}	19,87 ^{ns}	9,14 ^{ns}	5,39 b*	2,53 b
HS	55,33	4,07	16,88	9,44	5,86 a	2,85 ab
E + DD	52,75	3,87	21,04	9,27	5,88 a	2,92 a
Local						
AC	55,79**	3,87 ^{ns}	18,08 ^{ns}	9,08**	5,56 ^{ns}	2,79 ^{ns}
AA	49,05	3,80	20,44	9,48	5,86	2,73
Média	52,42	3,84	19,26	9,28	5,71	2,76
CV%	10,31	9,97	19,43	4,64	7,62	8,57
Sistemas	Safra 2014/15					
DD	31,81 c	1,84 b	15,01 ab	7,48 c	3,29 c	1,49 b
HS	33,95 b	1,91 b	12,66 b	8,03 b	3,48 b	1,57 b
E + DD	36,18 a	2,26 a	18,06 a	8,47 a	3,65 a	1,48 a
Local						
AC	34,09 ^{ns}	1,95 ^{ns}	14,98 ^{ns}	8,13**	3,59**	1,52 ^{ns}
AA	33,87	2,06	15,51	7,85	3,36	1,50
Média	33,98	2,00	15,24	7,99	3,47	1,51
CV%	3,9	5,51	14,04	2,75	2,19	2,12

Sistemas	Rendimento de grão kg ha^{-1}	
	Safra 2013/14	Safra 2014/15
DD	3980 b	3754 c
HS	4451 a	4111 b
E + DD	4350 a	4564 a
Local		
AC	4146 ^{ns}	4083 ^{ns}
AA	4375	4203
Média	4260	4143
CV%	6,64	3,68

DD = Disco duplo; HS = Haste sulcadora; E + DD = Escarificado + Disco duplo.
AC = Área de corte; AA = Área de aterro.
[1]Sistemas de preparo do solo e de semeadura.
^{ns}Não significativo em nível P=0,05 na coluna.
*Médias não seguidas da mesma letra minúscula na coluna diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.
**Diferença significativa entre os locais pelo teste t bilateral em nível de 5% de probabilidade de erro.

na linha de semeadura, o que contribui para maior teor de macronutrientes do tecido foliar das plantas. Segundo DRESCHER et al. (2012), a compactação do solo afeta a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, reduzindo a fotossíntese, o crescimento e o rendimento de grão da cultura. Contribuindo com o estudo, REICHERT et al. (2008) encontraram que 65% da variação na produtividade de grãos de soja é atribuída a atributos químicos do solo e físicos, como a resistência à penetração.

Para todos os sistemas, o rendimento de grãos foi elevado, devido à boa disponibilidade de água proporcionada pelas precipitações pluviais, que foi de 305; 98; 140; 123; 242; e 116mm (safra 2013/14) e 65; 323; 189; 89; 145 e 131mm (safra 2014/15) nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, respectivamente. Isso contribuiu para que todas as práticas de manejo expressassem seu potencial de resposta, pois disponibilidade de água é fundamental para obtenção de elevado rendimento (MIAO et al., 2012). Assim, restrições físicas do solo, como a presença de uma camada compactada próxima à superfície do solo, interferem nos teores foliares de macronutrientes das plantas e no rendimento de grão de soja, em área de várzea.

CONCLUSÃO

O sistema de preparo do solo com escarificação e a semeadura utilizando haste sulcadora na semeadora proporcionam maior rendimento de grão de soja, em área de várzea, que contém camada compactada próxima à superfície do solo. Não há diferenças entre áreas de corte e aterro, em sistematização realizada há quinze anos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado do primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de produtividade em pesquisa para o segundo autor e bolsa de doutorado ao primeiro autor. À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela bolsa de Iniciação Científica concedida ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS

BORGES, J.R. et al. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n.1, p.83-86, 2004. Disponível em: <http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/681/678>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.18539/CAST.V10I1.681.

CALONEGO, J.C. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.289-296, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFSRS/SC). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

DRESCHER, M.S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n5/a26v35n5.pdf>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/s0100-06832011000500026.

DRESCHER, M.S. et al. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1836-1844, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n6/18.pdf>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-06832012000600018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 39, 2012, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 142p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

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

FLORES, J.P.C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.771-780, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n4/a17v31n4.pdf>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-06832007000400017.

GOEDERT, W.J. et al. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.223-227, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2002000200015>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2002000200015.

IRGA (INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ). Irga divulga estimativa da Safra 2014/2015. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4869/irga-divulga-estimativa-da-safra-2014/2015>. Acesso em: 08 maio 2015.

MARCHEZAN, E. et al. Adubação foliar com micronutrientes em arroz irrigado, em área sistematizada. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.941-945, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782001000600003&script=sci_arttext>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0103-84782001000600003.

MARCHEZAN, E. et al. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.303-308, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782002000200020>. Acesso em: 18 out. 2014. doi:10.1590/S0103-84782002000200020.

MENTGES, M.I. et al. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.37, n.1, p. 221-231, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832013000100023&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-06832013000100023.

MIAO, S. et al. Effects of short-term drought and flooding on soybean nodulation and yield at key nodulation stage under pot culture. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.10, n. 34, p.819-824, 2012.

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. Cap.4, p.171-224.

ORTIGARA, C. et al. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.619-626, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200026>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000200026.

REICHERT, J.M. et al. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.981-988, 2008.

SOUZA, M.A.S. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p.611-622, 2012.

SPERA, S.T. et al. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.388-393, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119024529003>. Acesso em: 18 out. 2014. doi: 10.5039/agraria.v7i3a1227.

TAYLOR, H.M. et al. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p.

Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas

Crescimento e desenvolvimento de raízes de soja em função do manejo de implantação e da irrigação em área de várzea

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori[I*] Enio Marchesan[I] Ricardo De David[I] Fernando Teixeira Nicoloso[II] Márcio Renan Weber Schorr[I] Alberto Cargnelutti Filho[I] Gabriel Donato[I]

ABSTRACT

The presence of a compacted soil layer near the ground surface in paddy fields may limit the growth and development of soybean roots. The objective of this study was to evaluate different planting management systems and irrigation on growth and development of soybean root systems in lowland area. The experiment was carried out in 2013/14 and 2014/15 crop seasons in randomized complete block design with factorial treatment (3x2), with four replications. The treatments consisted of different planting management systems: sowing with double disc (A1); sowing with shank (A2) and deep tillage + sowing with double disc (A3), and irrigation: irrigated (D1) and non irrigated (D2). Planting management systems and irrigation influenced the growth of soybean roots. When double disc was used, roots have lower growth and increase in diameter. Use of shanks and deep tillage provide increased growth and development of soybean roots and greater depth distribution. An additional 55mm of irrigation during the V4 soybean development stage provides increased surface area and root volume in when the soil moisture reaches values below 60% of field capacity.

Key words ***Glycine max*** *L., compacted layer, shank, deep tillage, root system.*

RESUMO

A presença de uma camada compactada próxima à superfície do solo em áreas de várzeas pode limitar o crescimento e desenvolvimento das raízes de soja. O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes manejos de implantação e irrigação no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular de soja em área de várzea. O experimento foi realizado nas safras 2013/14 e 2014/15 no delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial (3x2), em faixa, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de diferentes manejos de implantação da cultura: semeadura com disco duplo desencontrado (A1); semeadura com haste sulcadora (A2) e escarificação do solo + semeadura com disco duplo desencontrado (A3), e de irrigação: com irrigação (D1) e sem irrigação (D2). Os manejos de implantação e a irrigação influenciaram no crescimento das raízes de soja. No disco duplo, as raízes apresentam menor crescimento e aumento do diâmetro. Os manejos com haste sulcadora e escarificação do solo proporcionam maior crescimento e desenvolvimento de raízes de soja e maior distribuição em profundidade. Uma irrigação suplementar de 55mm no estádio V4 de desenvolvimento das plantas de soja proporciona aumento da área superficial e do volume de raízes em soja, quando a umidade do solo atinge valores abaixo de 60% da capacidade de campo.

Palavras-chave ***Glycine max*** *L., camada compactada, haste sulcadora, escarificação do solo, sistema radicular.*

INTRODUCTION

these areas are flat and prone to the formation of a which makes drainage of the area difficult. Moreover, tillage, which causes the soil disruption, influencing

Received 12.03.15 Approved 03.28.16 Returned by the author 06.12.16
CR-2015-1579.R1

relationship, limiting growth and development of the root system (CARDOSO et al., 2006).

According QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000), the soybean root system under normal cultivation conditions, is distributed almost entirely within the first 15cm of soil. However, when there is any physical limitation of the soil, there may be a reduction in root growth. According to OLIVEIRA et al. (2012), soil compaction increases the diameter of soybean roots, and this inhibits its development.

In this context, it is essential to assess planting management systems that reduce the compacted soil and consequently promote higher root growth and development of soybean plants. Among the available managements, deep tillage and sowing with shank have provided positive effects on soil decompression within the crop row (DRESCHER et al., 2011). Irrigation is also an important tool because the water content in the soil directly interferes in soybean roots (HOSSNE et al., 2015).

As a result, this study aimed to evaluate the effect of different planting management systems and irrigation on growth and development of soybean root systems in a lowland area.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out during the 2013/14 and 2014/15 crop seasons in the experimental lowland area of the Federal University of Santa Maria (UFSM), in southern Brazil, in soil classified as Albaqualf (SOIL SURVEY STAFF, 2014). For each crop season, the experiment was set up at a different location within the experimental area.

The soil at the experimental area had the following physical and chemical characteristics to the 30 days before sowing: clay = 25%; pH_{water} (1:1) = 5.4; P = 18mg dm^{-3}; K = 60mg dm^{-3}; Ca = 5.3$cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 2.4$cmol_c$ dm^{-3} and organic matter (OM) = 2.0% for the 2013/14 crop season and; clay = 26%; pH_{water} (1:1) = 5.4; P = 15.3mg dm^{-3}; K = 44mg dm-3; Ca = 8.3$cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 3.1$cmol_c$ dm^{-3} and OM. = 2.0% for the 2014/15 crop season.

The experiment followed a randomized strip-block design in a factorial scheme (3x2), with strip plots for both factor A and for factor D, with four replications. The factor A was composed of different planting management systems: sowing with a double disc (A1); sowing with a shank (A2) and deep tillage + sowing with double discs (A3). The D factor was: irrigated (D1) and non irrigated (D2).

Deep tillage was carried out at a depth of 25cm at 45 prior to sowing for the 2013/14 crop season and 19 days prior to sowing for the 2014/15 season. The working depth was approximately 18cm for the shank and 10cm for the double discs. Sowing took place on November 7th and 14th of 2013 and 2014, respectively, using a fertilizer seeder. Due to 245mm rainfall two days after sowing (2013/14), re-sowing took place on November 26th, 2013. The soybean cultivar used was the 'BMX Tornado RR' with 26 seeds m^{-2}, and 0.5m distance between rows.

Fertilization at sowing as well as additional crop treatments was performed according to the technical indications for crop (EMBRAPA, 2012). Border irrigation was performed when the average soil moisture was at 58% of field capacity in the 0-20cm layer. During the experiment 55mm irrigation was performed in the V4 stage of the plants, according to scale (FEHR & CAVINESS, 1977), for the 2013/14 crop.

The soil penetration resistance was evaluated. The evaluation was conducted at the sowing line in the 0-20cm layer using a digital Falker® PLG 1020 penetrometer at the V6 growth stage of plants.

To evaluate the root systems, at the V6 and R3 growth stages, five plants were collected per repetition in sequence at the sowing line using a 40x40x25 (length, width and depth) soil monolith. After the collection, the root system was separated from shoot and soil by washing with water. After washing, the two plants from the extremities of the monolith were discarded, and only the three plants at the center were scanned using a Epson Expression® 11000XL scanner and analyzed using the software WinRhizo®. The values obtained were: root length (cm), projected area (cm^2), surface area (cm^2), average diameter (mm), total volume (cm^3), number of tips and number of root forks.

After these assessments, using the same root, dry mass was analyzed by drying in an oven with forced air circulation at a temperature of 65°C until constant weight, after which mass was verified using a precision scale. In the R5 stage, evaluation of dry mass was performed in two soil layers: 0-10 and 10-20cm. Samples were collected by soil monoliths of 20 x 20 x 10cm (length, width and depth) in each layer containing the roots of two plants. After collection, the root system and soil were separated by washing with water and then oven dried to obtain the dry mass, with the results expressed in mg cm^{-3} of soil.

The data were submitted to the assumptions of the mathematical model (normality and homogeneity of variances). Analysis of variance

was performed using the F test and means, when significant were compared by Tukey test at 5% probability of error.

RESULTS AND DISCUSSION

In both crop seasons, the soil in which the experiment was performed had penetration resistance above 2MPa at layer 7 to 15cm (Figure 1A, B). According to BOTTA et al. (2010) and BORTOLUZZI et al. (2014), values of soil penetration resistance as high as 2MPa are considered to be critical to the growth and development of plant roots. Both deep tillage and shank reduced values of soil penetration resistance at the sowing line to below 1MPa and 1.5MPa for the 2013/14 and 2014/15 crop seasons, respectively. Use of double discs resulted in a smaller decrease in soil penetration resistance; thereby, maintaining the presence of the compacted soil layer in the sowing line, since the resistance to penetration is used as an indication of the degree of soil compaction (BEULTER & CENTURION, 2004).

Regarding the dry mass of roots in the V6 and R3 growth stages, there was no interaction between the planting management system and irrigation (Table 1). Deep tillage and sowing with shank provided the highest amount of dry matter in soybean roots in V6 and R3 growth stages in the 2013/14 crop season and in R3 in the 2014/15 season; there were no effects linked to irrigation. In

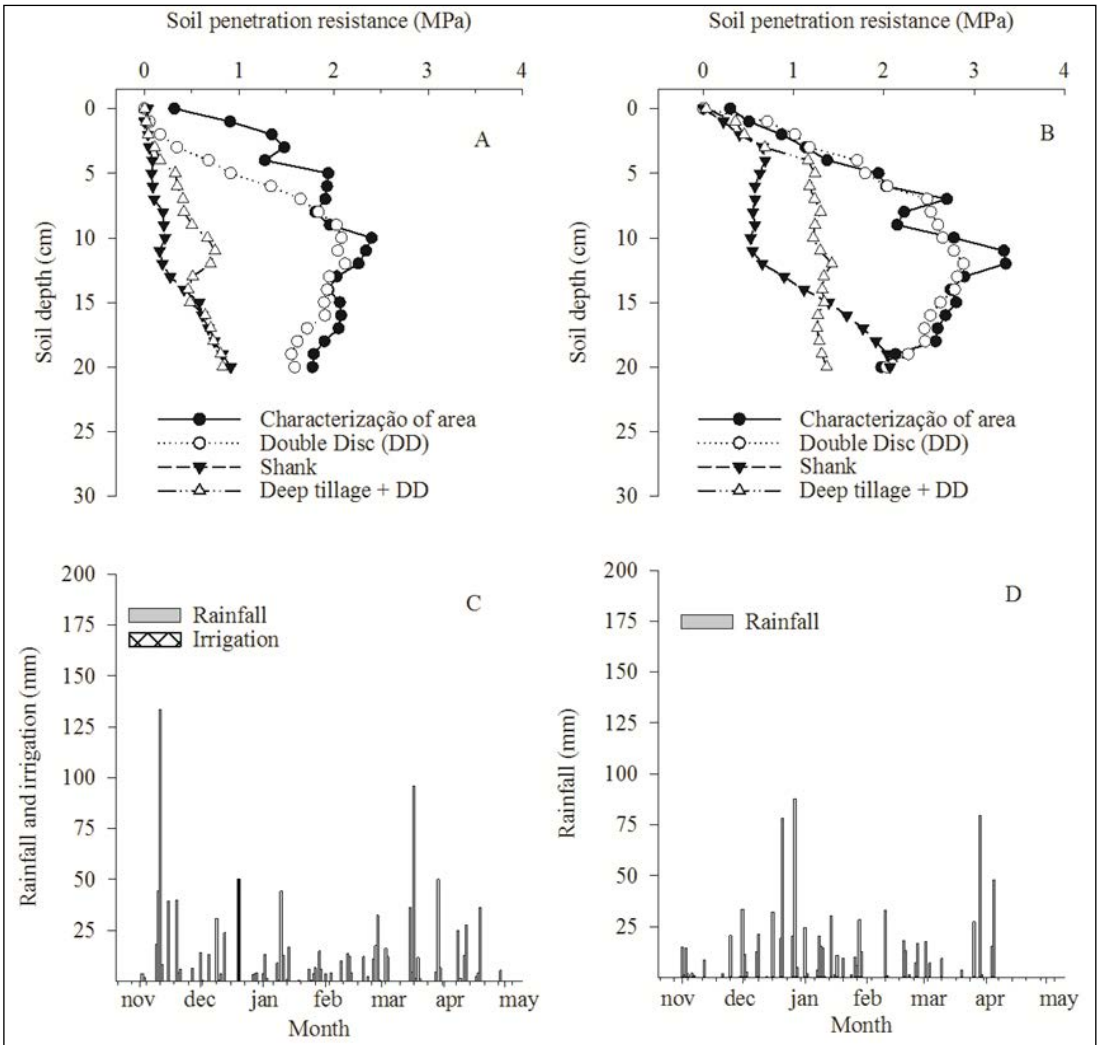

Figure 1 - Soil penetration resistance at the V6 growth stage for the 2013/14 (A) and 2014/15 (B) crop seasons, according to the planting management systems and rainfall and irrigation for 2013/14 (C) and rainfall 2014/15 (D) crop seasons, respectively. Santa Maria, RS - Brazil 2015. Average moisture in the soil layer 0-20 cm at the time of each evaluation was 32 and 31% (A, B), respectively.

Table 1 - Root dry mass (mg plant^{-1}) and root dry mass (mg cm^{-3} soil) of soybean plants ('BMX Tornado RR' cultivar) in two soil depths (D) according to the planting management systems and irrigation. Santa Maria, RS - Brazil. 2015.

Planting management systems	Root dry mass (mg plant $^{-1}$)			
	V6[1]	R3	V6	R3
	2013/14 crop season		2014/15 crop season	
Double Disc (DD)	1825 b*	4450 b	1300 a	1966 b
Shank	2733 a	5150 ab	1350 a	3825 a
Deep tillage + DD	2462 a	5883 a	1675 a	4000 a
Irrigation				
Irrigated (I)	2372 a	5167 a	-	-
Non-irrigated (NI)	2308 a	5155 a	-	-
Average	2340	5161	1441	3263
CV (%)	20.6	11.7	31.5	16.2
	Root dry mass (mg cm^{-3} soil)			
Planting management systems	R5			
	2013/14 crop season			
	D (0-10 cm)		D (10 – 20 cm)	
	Irrigated	Non irrigated	Irrigated	Non irrigated
Double Disc (DD)	A 2.6 a	B 2.3 c	A 0.1c	A 0.2 c
Shank	A 2.9 a	A 3.2 a	B 0.3 b	A 0.4 a
Deep tillage + DD	A 2.9 a	A 2.8 b	A 0.4 a	B 0.3 b
Average	2.8	2.8	0.3	0.3
CV (%)	6,3		9,2	
	2014/15 crop season			
Double Disc (DD)		2.2 a		0.2 b
Shank		3.0 a		0.4 a
Deep tillage + DD		3.3 a		0.4 a
Average		2.8		0.4
CV (%)		18.7		19.3

* Means preceded by the same capital letter in line and followed by same letter in the column do not differ by Tukey test at 5% probability.
[1]plant development stage.

the evaluation at the R5 stage, there was interaction between the planting management systems and irrigation in the 2013/14 crop season. According to the results 94; 90 and 89% (2013/14 season) and 92; 88 and 89% (2014/15 season) of the total assessed roots were concentrated in the 0-10cm layer when using double discs, shank and deep tillage, respectively. However, in the 10-20cm layer, in both crop seasons, there was a higher concentration of roots when sowing with shank and deep tillage when compared to the double discs, indicating further deepening the roots in these types of soil management. Another important result is that, especially in the layer subjected to greater stress from the root system (0-10cm layer) irrigation promoted greater dry mass of roots in the double disc system in the 2013/14 crop season.

These results support the studies of BOTTA et al. (2010), which reported greater root growth of soybean in the topsoil with increasing soil penetration resistance. The greatest growth and roots depth in planting management systems using shank and deep tillage may be associated with greater reduction in soil penetration resistance at the sowing line, as seen in figures 1A and 1B. NUNES et al. (2015) evaluated the effect of sowing maize using three shank depths, and reported that working the soil with a shank at 17cm resulted in an increase in soil macroporosity and total porosity and reduced penetration resistance, resulting in greater dry mass and root length, growth at greater soil depths.

Total root length, diameter and number of root forks did not differ among planting management systems; only the effect of irrigation was observed which resulted in greater root length, observed in V6 in the 2013/14 crop season (Table 2). However, the shank provided greater projected area and surface area of roots. In the 2014/15 crop season, the use of shanks and deep tillage presented greater root length, projected area, surface area,

Table 2 - Length (L), projected area (PA), surface area (SA), average diameter (AD), the number of forks (F), root volume (V) and number of roots tips (NT) of the 'BMX Tornado RR' soybean cultivar according to the planting management systems. Santa Maria, RS - Brazil. 2015.

Planting management systems	L (cm)	PA (cm^2)	SA (cm^2)	AD (mm)	F	V (cm^3)	NT
	----------V6[1]----------						
	----------2013/14 crop season----------						
Double Disc (DD)	1139 a*	88 ab	235 ab	0.6 a	5607 a		
Shank	1297 a	102 a	310 a	0.7 a	5258 a		
Deep tillage + DD	935 a	69 b	215 b	0.7 a	3871 a		
Irrigation							
Irrigated (I)	1204 a	86 a	271 a	0.7 a	5097 a		
Non irrigated (NI)	1043 b	86 a	236 b	0.7 a	4727 a		
Average	1124	86	253	0.7	4912		
CV (%)	9.4	12.3	15.8	6.0	27.4		
	----------2014/15 crop season----------						
Double Disc (DD)	959 c	61 b	191 b	0.6 a	3557 b	3 b	1118 b
Shank	1357 b	85 a	270 a	0.6 a	4510 a	4 a	1385 a
Deep tillage + DD	1588 a	94 a	289 a	0.6 a	4826 a	4 a	1535 a
Average	1301	80	250	0.6	4298	3	1346
CV (%)	8.0	7.0	7.6	5.5	9.7	6.8	6.8

Planting management systems	V (cm^3)		NT	
	----------2013/14 crop season----------			
	I	NI	I	NI
Double Disc (DD)	B 4.1 b	A 5.5 a	A 1451.0 a	B 1017.7 a
Shank	A 7.1 a	B 5.3 a	A 1038.0 ab	A 1246.0 a
Deep tillage + DD	A 3.9 b	A 3.6 b	A 852.6 b	A 872.5 a
Average	5,0	4,8	1113.8	1045.4
CV (%)	14.3		14.3	

*Means preceded by the same capital letter in line and followed by same letter in the column do not differ by Tukey test at 5% probability.
[1]plant development stage.

number of forks, volume and number of root tips in relation to the double disc; no difference was found as to the average diameter of roots.

In the evaluation carried out in R3 (Table 3), 2013/14 crop season, the use of shank and deep tillage provided the best results in root length, projected area, surface area and number of root tips. However, at this stage there was an increase in average root diameter for the double disc system. According to SILVA & ROSOLEM (2002), increase in root diameter and decrease in root length are among the morphological changes that can occur in roots as a result of growth restriction. According to FOLONI et al. (2006), the increase in diameter occurs as a means to increase the force exerted in the stretching process of the root meristem cells to penetrate compacted soil. In the 2014/15 crop season a positive effect was also observed for both of the mentioned parameters in systems with shank and deep tillage, no significant differences were reported for the other evaluated parameters.

Generally, according to the results reported for root growth and development in three growth stages (V6, R3 and R5), in the 2013/14 and 2014/15 crop seasons, sowing with shank and deep tillage provided greater root growth and development for soybeans grown in lowland area. This can be explained by the greater effect of these types of management in increasing the total porosity and soil macroporosity, in addition to the reduction of soil penetration resistance at the sowing line, as aforementioned. According to CARDOSO et al. (2006), the root system benefits from increased oxygenation capacity and water infiltration into the soil, features that possibly have been improved in these two planting management systems. Additionally, irrigation should be noted because the soybean root system is influenced by the water content (HOSSNE et al., 2015). In this study, except for a period of 15 days there was no rainfall in the 2013/14 crop season, 55mm irrigation in V4 plant growth stage resulted in higher root surface area and

Table 3 - Length (L), projected area (PA), surface area (SA), average diameter (AD), the number of forks (F), volume (V) and number of root tips (NT) of the 'BMX Tornado RR' soybean cultivar according to the planting management systems and irrigation. Santa Maria, RS - Brazil. 2015.

Planting management systems	L (cm)	PA (cm^2)	SA (cm^2)	AD (mm)	F	V (cm^3)	NT
	R3[1]						
	2013/14 crop season						
Double Disc (DD)	1418 b*	168 b	519 b	1.1 a	8531 a	14 a	1660 b
Shank	1991 a	215 a	678 a	1.0 b	10580 a	17 a	1986 a
Deep tillage + DD	1878 a	189 ab	546 ab	0.9 b	10234 a	16 a	2173 a
Irrigation							
Irrigated (I)	1710 a	187 a	605 a	1.09 a	10321 a	17 a	1810 a
Non irrigated (NI)	1815 a	195 a	557 b	1.04 a	9243 a	15 b	2069 a
Average	1762	191	3087	1.06	9782	16	1939
CV (%)	21.3	24.8	14.4	11.7	31.8	28.4	24.9
	2014/15 crop season						
Double Disc (DD)	2526 a	169 a	506 b	0.6 a	9154 a	8 b	3233 a
Shank	3548 a	242 a	760 ab	0.7 a	13477 a	13 a	3900 a
Deep tillage + DD	3638 a	238 a	772 a	0.6 a	13520 a	12 a	4231 a
Average	3237	216	679	0.6	12050	11	3788
CV (%)	25.3	20.7	20.6	5.1	28.5	14.9	22.7

*Means followed by the same letter in the column do not differ by Tukey test at 5% probability.
[1]plant development stage.

volume; in other periods and in the 2014/15 crop season there was balanced distribution of rainfall (Figure 1C, D), with no need for irrigation, rainfall alone was sufficient to prevent water deficits and possibly impact the root growth. In Iran, MASOUMI et al. (2014), evaluating levels of water deficit in five soybean cultivars, found decreased root length and volume. According to MASOUMI et al. (2014), this is due to the imbalance in the allocation of photosynthetic substances throughout the roots.

In this sense, it is evident that the presence of a compacted layer located close to the soil surface is a limiting factor for the growth and development of the soybean root system in lowland areas. Thus, loosening part of this compacted layer, especially the top layer, up to a depth of 15cm, which concentrates greater volume of roots, is a key practice in order to promote better root growth.

CONCLUSION

Planting management systems using shank and deep tillage in lowland areas provide greater root growth of soybean plants grown in these areas. An additional irrigation of 55mm at V4 growth stage of soybean plants provides increased surface area and root volume when soil moisture reaches values below 60% of area field capacity lowland areas.

ACKNOLEDGEMENTS

We would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior (CAPES) for providing the first author with a fellowship. We acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientıfico e Tecnológico (CNPq) for providing a research fellowship for the second author and doctoral studies Grant for the first author and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) for providing the fellowship scholarship to the third author.

REFERENCES

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Effect of soil compaction in root development and in soybean yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000600010>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2004000600010.

BORGES, J.R. et al. Resistance to penetration of a typical endoaqualf submitted to tillage systems and crops. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n.1, p.83-86, 2004. Available from: <http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/681/678>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.18539/CAST.V10I1.681.

BORTOLUZZI, E.C. et al. Soybean root growth and crop yield in reponse to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p.262-271, 2014. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100026&script=sci_arttext>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000100026.

BOTTA, G.F. et al. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (***Glycine max*** L.) yields in Argentinean pampas. **Soil & Tillage Research**, v.110, n.1, p.167-174, 2010. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198710001157>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1016/j.still.2010.07.001.

CARDOSO, E.G. et al. Soybean root system in function of soil compaction under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.493-501, 2006. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000300017>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2006000300017.

DRESCHER, M.S. et al. Persistence of mechanical interventions effect for soil decompaction in no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832011000500026&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832011000500026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 39., 2012, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 2012. 142p.

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

FOLONI, J.S.S. et al. Shoot and root growth of soybean and cover crops as affected by soil compaction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832006000100006&script=sci_arttext>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832006000100006.

HOSSNE, G.A. et al. Soil irrigation frequencies, compaction, air porosity and shear stress effects on soybean root development. **Acta Universitaria**, v.25, n.1, p.22-30, 2015. Available from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v25n1/v25n1a3.pdf>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.15174/au.2015.676.

MASOUMI, H. et al. Effects of different levels of water deficit stresses on the morphologic properties of root, antioxidants activity and the seed yield in five cultivars of soybean (***Glycine max*** L). **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v.3, n.2, p.2319-1473, 2014.

NUNES, M.R. et al. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v.148, p.119-126, 2015. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714002724>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1016/j.still.2014.12.007.

OLIVEIRA, P.R. de et al. Physical quality of an oxisol under soybean at different compaction and irrigation levels. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v.36, p.587-597, 2012.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B. et al. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.929-938, 2000. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714002724>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1016/j.still.2014.12.007.

SILVA, R.H.; ROSELEM, C. Soybean root growth as affected by previous crop and soil compaction. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.855-860, 2002. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2002000600015>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2002000600015.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12.ed. Washington: United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 2014. 372p.

SPERA, S.T. et al. Effect of crop production systems and pastures under no-tillage on some physical attributes of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.388-393, 2012.

VALICHESKI, R.R. et al. Growth of cover crops and soybean yield according to physical attributes in compacted soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.969-977, 2012. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000200028>. Accessed: Oct. 18, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832012000200028.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

Article

Revista Brasileira de Ciência do Solo

Division - Soil Use and Management | Commission – Soil and Water Management and Conservation

Soybean Tillage Systems and Physical Changes in Surface Layers of Two Albaqualf Soils

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori[(1)*], Enio Marchesan[(2)], Ricardo De David[(3)], Reimar Carlesso[(4)], Mirta Teresinha Petry[(4)], Núbia Pentiado Aires[(3)], Robson Giacomeli[(1)], Bruno Behenck Aramburu [(3)] and Anelise Lencina da Silva[(3)]

[(1)] Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
[(2)] Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
[(3)] Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Curso de Agronomia, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
[(4)] Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Engenharia Rural, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT: A compacted subsurface soil layer can be a limiting factor for soybean growing, reducing soybean yield. The aim of this study was to evaluate the effect of different tillage systems on the physical properties of two Albaqualf soils of the Central Plains region in the state of Rio Grande do Sul in southern Brazil. Two experiments were conducted: one in Santa Maria, RS, during the 2013/14 and 2014/15 crop seasons, and another in Formigueiro, RS, during the 2013/14 crop season. A randomized block experimental design with four replications was used. The treatments were: sowing using an offset double disc (T1); sowing using a fluted coulter disc (wavy disc with 12 waves) (T2); sowing with a knife runner opener (T3); sowing with a knife runner opener + press wheel mechanism for ground levelling (T4); sowing using a furrow opener upon a raised bed (T5); and chisel plough + sowing using an offset double-disc (T6). In the 2014/15 growing season, the T4 factor was changed using a knife runner opener 0.05 m from the planting row. A smaller reduction in the compacted subsurface soil layer was observed for both T1 and T2, which exhibited high soil bulk density values for the 2013/14 and 2014/15 crop seasons. Furthermore, T3, T5 and T6 led to a reduction in bulk density, and increasing total porosity and macroporosity in the soil, which consequently increased water infiltration, water storage capacity, and crop yield in areas with the presence of a compacted subsurface soil layer.

Keywords: compacted layer, deep tillage, raised bed, planter mechanism.

*** Corresponding author:**
E-mail: gersonmss@yahoo.com.br

Received: January 13, 2016
Approved: February 1st, 2016

How to cite: Sartori GMS, Marchesan E, De David R, Carlesso R, Petry MT, Aires NP, Giacomeli R, Aramburu BB, Silva AL. Soybean Tillage Systems and Physical Changes in Surface Layers of Two Albaqualf Soils. Rev Bras Cienc Solo. 2016;40:e0160019.

Copyright: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author and source are credited.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

INTRODUCTION

An increase in cultivation of soybean in rotation with rice has been observed in recent crop seasons in lowland areas. This increase can be explained by the presence of weeds difficult to control in rice cropping areas, and by the need for rural income diversification. The use of crop rotation also indirectly improves physical and chemical soil conditions (Thomas et al., 2000). The predominant soil class in lowlands of Rio Grande do Sul is Albaqualf (Bamberg et al., 2009) formed inhydromorphic environment (Borges et al., 2004) with limited water drainage (Marchezan et al., 2002). When Albaqualf soils are cultivated with rainfed crops, as is the case of soybeans, plant growth and development may be hindered, mainly due to their naturally unfavorable physical conditions (Bamberg et al., 2009).

During the systematization process of land areas for irrigated rice, compacted soil layers can be found near the surface (Nunes et al., 2002; Reichert et al., 2008). Soil compaction is a major cause of physical degradation of agricultural soils (Mazurana et al., 2013), which indirectly it influences infiltration, hydraulic conductivity, temperature, and aeration of the soil (Borges et al., 2004). The effects of soil compaction on aeration can be evaluated by the amount of macropores (Valicheski et al., 2012). Soil compaction is manifested by increased bulk density and reduction in total porosity and macroporosity of the soil (Drescher et al., 2011), along with increased resistance to penetration (Spera et al., 2012). A study conducted by Mentges et al. (2013), evaluating hydro-physical and mechanical changes in the soil after eight years of rice crops grown in a conventional tillage system, showed an increase in bulk density and a decrease in total porosity and macroporosity.

A compacted soil layer reduces the water infiltration rate (Bonini et al., 2011) and decreases the least limiting water range in the soil profile (Kaiser et al., 2009). Furthermore, water availability to plants can be reduced as the soil structure is one of factors which directly influence water availability to crops by determining the arrangement of soil particles and therefore the distribution of pore diameters (Klein and Libardi, 2000). Soil compaction increases water retention but reduces water availability to plants.

Soybean producing areas may be adversely affected after years of stress from either lack or excess of water because both retention and availability of water can affect plant growth and yield (Costa et al., 2013) by affecting water uptake by plants (Carlesso, 1995). The study of management practices that improve hydro-physical properties of the soil becomes essential to optimize soybean cultivation in such areas. The hypothesis of this work is that sowing with a knife runner opener, sowing using a furrow opener upon a raised bed and chisel plough + sowing using an offset double disc improving soil physical quality.

Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of different soybean tillage systems on the physical characteristics of the subsurface layer of two Albaqualf (*Planossolos*) soils of the Central Plains region in the state of Rio Grande do Sul in Brazil.

MATERIALS AND METHODS

Two experiments were performed: Experiment 1 during the 2013/14 and 2014/15 crop season and Experiment 2 during the 2013/14 crop season. Experiment 1 was carried out in the experimental lowland area of the Phytotechnology and Plant Science Department of the Federal University of Santa Maria (Universidade Federal de Santa Maria - UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brazil, in soil classified as an Albaqualf (Soil Survey Staff, 2014), or *Planossolo Háplico Eutrófico* (Santos et al., 2013). The soil of the surface layer where the experiment was conducted belongs to the silty loam textural class (Table 1). We found 245, 208, and 547 g kg^{-1} of clay, sand, and silt, respectively, in the center of the two layers, and the following chemical properties,

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

at 60 days before sowing, in the 0.0-0.2 m layer: pH(H_2O) (1:1) 5.4; P 18 mg dm^{-3}; K 60 mg dm^{-3}; Ca^{2+} 5.3 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+} 2.4 $cmol_c$ dm^{-3}, and organic matter (OM) 2.0 % for the 2013/14 crop season; and pH(H_2O) (1:1) 5.4, P 15.3 mg dm^{-3}, K 44 mg dm^{-3}, Ca^{2+} 8.3 $cmol_c$ dm^{-3}, Mg^{2+} 3.1 $cmol_c$ dm^{-3}; and OM 2.0 % for the 2014/15 crop season.

The 2013/14 crop season experiment was carried in an area which previously contained a soybean crop and the 2014/15 crop season experiment was carried out in an area which previously contained irrigated rice. After the preceding soybean and rice crops were harvested, the areas received 2.0 Mg ha^{-1} of lime and then disked and leveled. In the off-season, ryegrass was sown in the area, which was desiccated with glyphosate at rate of 960 g ha^{-1} a.i.. By the time the experiments were set up, practically no ryegrass remained.

A randomized block experimental design was used with four replications. The treatments were different soybean tillage systems (Figure 1): sowing using an offset double disc (T1); sowing using a fluted coulter disc (wavy disc with 12 waves) (T2); sowing with a knife runner opener (T3); sowing with a knife runner opener + press wheel mechanism for ground levelling (T4); sowing using a furrow opener upon a raised bed (T5); and chisel plough + sowing using an offset double disc (T6). In the 2014/15 growing season, the T4 factor was changed using a knife runner opener 0.05 m from the planting row.

Experiment 2 was carried out in a non-systemized area with gently rolling topography in the neighboring municipality of Formigueiro in soil classified as an Albaqualf (Soil Survey Staff, 2014), or *Planossolo Háplico Eutrófico típico* (Santos et al., 2013). In this experiment, the clay, sand, and silt found in the soil in the center of the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers were 360, 252, and 387 g kg^{-1}, respectively, and the textural class was silty clay loam in both layers (Table 1). At 50 days prior to sowing, the 0.0-0.2 m layer had the following physical-chemical properties: pH(H_2O) (1: 1) 5.2; P 2.2 mg dm^{-3}, K 112 mg dm^{-3}; Ca^{2+} 10.5 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+} 8.0 $cmol_c$ dm^{-3}; and OM. 1.6 %.

Beef cattle were raised in the experimental area in the municipality of Formigueiro, and prior to the experiment the native pasture was desiccated with glyphosate at rate of 960 g ha^{-1} a.i.. A randomized block experimental design was used, with four replications. The treatments were the same as in Experiment 1 during the 2013/14 crop season, but without the raised bed system.

Chisel plough for Experiment 1 was performed at 45 and 19 days before sowing for the 2013/14 and 2014/15 crop season, respectively, in friable soil. For experiment 2, deep

Table 1. Particle size distribution and soil textural class in two soil layers. Santa Maria and Formigueiro, RS, Brazil, 2015

Particle size[(1)]	0.0-0.1 m	0.1-0.2 m
	g kg^{-1}	
	Experiment 1 - Santa Maria	
Clay	214	276
Sand	210	206
Silt	576	518
Textural class	silty loam	silty loam
	Experiment 2 - Formigueiro	
Clay	318	403
Sand	287	218
Silt	395	379
Textural class	silty clay loam	silty clay loam

[(1)] Determined by the pipette method (Donagema et al., 2011). Sand: 2 to 0.05 mm, silt: 0.002 to 0.05 mm, clay: <0.002 mm.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

tillage was carried out at the time of sowing. Tillage depth in both experiments was about 0.25 m, and knives were spaced at a distance of 0.35 m. The knife runner opener, the furrow opener upon a raised bed, the offset double disc, and the fluted coulter disc (wavy disc with 12 waves) system had working depths of approximately 0.18, 0.12, 0.10, and 0.08 m, respectively. Sowing was carried out on November 7, 2013 and November 14, 2014, for Experiment 1. Due to a 245 mm rainfall two days after sowing during the 2013/14 crop season, reseeding took place on November 26, 2013. For experiment 2, sowing took place on November 5, 2013. The soybean cultivar used for both experiments was BMX Tornado at a seed density of 26 seeds m^{-2} in rows spaced at 0.50 m.

Sowing of T1, T2, T3, T4, and T6 was carried out with a MF 407 planter, weighing approximately 2,210 kg. Raised bed seeding (T5) was performed with a KF 8/5 - A seeder, weighing approximately 3870 kg. The average seeding speed for experiments 1 and 2 was 3.3 and 3.5 km h^{-1}, respectively. At sowing the average water volume content in the soil was 26 and 34 m^3 in the 0.0-0.2 m layer for Experiment 1 and 2, respectively. The experimental units were 40 × 3 m and 60 × 3 m for experiments 1 and 2, respectively, with an area of 15 m^2 each.

The properties analyzed from the soil samples were soil bulk density (BD), total porosity (TP), microporosity (Micro), macroporosity (Macro), micropore/macropore ratio, degree of compaction (DC), water content retained at field capacity, available water, and maximum soil water storage. Evaluations were performed at 10 days prior to sowing during the V6 and R3 soybean growth stages in both experiments in the 2013/14 crop season, and during growth stage R3 in the 2014/15 season.

For soil analysis, soil samples were collected from the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m depth layers in the planting row using volumetric rings of 4.0 cm height and 4.8 cm diameter. After collection, soil samples were sent to the laboratory and analyzed using the volumetric ring technique associated with a table tension with a 0.60-m water column, following the techniques described by Donagema et al. (2011). We considered the water retained at field capacity of -10 kPa and the permanent wilting point at -1500 kPa. To determine water availability, the permanent wilting point was subtracted from the field capacity.

The degree of compaction (DC) was calculated using the following equation: $DC = (BD/BD_{ref}) \times 100$, which relates bulk density in the field (BD) to a reference density value restrictive to plant growth. Soil DC was calculated by using two strategies to estimate density reference, namely: BD_c LLWR = 1.83803 - 0.00078 × clay as proposed by Reichert et al. (2009a) in which LLWR (Least Limiting Water Range) is zero, and BD_c LLWR = 1.77000 - 0.00063 × clay, according to Jones (1983) when considering restriction to root growth.

Water infiltration capacity was also evaluated in Experiment 1 in the V6 and R7 crop stages for the 2013/14 and 2014/15 crop seasons, respectively. The evaluations were performed in the planting row using the double ring infiltrometer method. Readings were taken over a 3-h period, as proposed by Sato et al. (2012).

The results were subjected to the test of the assumptions of the mathematical model (normality and homogeneity of variances). Analysis of variance was performed using the F test and the means of the treatments, when significant, were compared by the Tukey test at 5 % probability.

RESULTS

Experiment 1

Soil physical properties at ten days before sowing (Table 2) indicated the presence of a more severely compacted soil layer at 0.1-0.2 m in both crop seasons (2013/14 and

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

2014/15). This can be inferred by the high values of bulk density (BD) and reduced values of total porosity (TP) and macropores compared to the 0.0-0.1 m layer. In this same layer, macro values indicate a restriction in aeration with values below 0.10 m^3 m^{-3}. Moreover, by comparing the density values observed with the reference values of density restrictive to plant and root growth (Table 2), these values are very close in the 0.1-0.2 m layer, which indicates a marked degree of compaction in this soil layer in both crop seasons. In the 0.1-0.2 m layer there were distinct responses arising from the different tillage systems in both crop seasons on the hydro-physical characteristics of the soil evaluated at different times after soybean seeding.

In the 2013/14 season (Table 3), soil water retention and availability, well as BD and microporosity (Micro) were not significantly affected by the tillage systems at the V6 stage in the 0.0-0.1 m and 0.1-0.2 m layers. However, T1 (offset double disc system) exhibited lower TP and Macro, and a greater micropore/macropore ratio in the 0.0-0.1 m layer compared to the other systems. No difference was found for the variables evaluated in the 0.1-0.2 m layer.

Similar to observations in the V6 stage, in the R3 stage there was lower macroporosity (Macro) and TP and a greater micropore/macropore ratio in T1. For soil water retention, in systems using an offset double-disc and a (double fluted-counter) wavy disc with 12 waves (T2), there was higher water retention compared to the shank and raised bed systems in the 0.0-0.1 m layer, without any differences in the 0.1-0.2 m layer. The fluted coulter disc (T2) and knife runner opener (T3) systems led to greater availability of water in the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layer, respectively. For BD, there was no significant difference for the 0.1-0.2 m layer, where the highest densities were found in soil systems that used either offset double-disc or fluted coulter disc. Furthermore, low macropore values were found in depths up to 0.2 m in both systems; the highest macropore value was observed in the raised bed and knife runner opener system in the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers, respectively.

In the 2014/15 season (Table 4), the results were similar to those observed in the 2013/14 season. In the evaluation carried out during the R3 stage, there were no significant differences among the systems for water retention and availability, or for the quantity of micropores in the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers. Higher BD, lower TP, lower quantity of macropores, and higher micropore/macropore ratio were observed in both layers for the

Table 2. Soil water retention at field capacity (θ_{FC}), available water (AW), bulk density (BD), total porosity (TP), microporosity (Mi), macroporosity (Ma), Mi/Ma ratio, reference bulk density value restrictive to plant and root growth (BD_{ref}), and degree of compactness (DC) in two soil layers ten days prior to sowing. Santa Maria 2013/14 and 2014/15 crop season and Formigueiro 2013/14 crop season

Layer	θ_{FC} (-10 kPa)	AW	BD	TP	Mi	Ma	Mi/Ma	BD_{ref} (1)	BD_{ref} (2)	DC(1)
m	mm		Mg m^{-3}	m^3 m^{-3}				Mg m^{-3}		%
Santa Maria – Experiment 1 (2013/14 crop season)										
0.0-0.1	38	27	1.33	0.53	0.40	0.13	3:1	1.67	1.64	80
0.1-0.2	35	21	1.67	0.42	0.36	0.06	6:1	1.62	1.60	103
Formigueiro – Experiment 2 (2013/14 crop season)										
0.0-0.1	33	24	1.62	0.37	0.36	0.02	18:1	1.59	1.57	102
0.1-0.2	30	21	1.58	0.36	0.35	0.04	9:1	1.52	1.52	104
Santa Maria – Experiment 1 (2014/15 crop season)										
0.0-0.1	36	24	1.45	0.43	0.33	0.10	4:1	1.67	1.64	87
0.1-0.2	34	22	1.60	0.37	0.30	0.08	4:1	1.62	1.60	99

The methods used were according to Donagema et al. (2011). θ_{FC} and AW: determined by Richards extractor device (Soils Moisture Equipment); BD: volumetric method; TP: calculation method with particle density; Mi: tension table method: 0.6 m tension; Ma: difference between TP and Mi. (1) BD_{ref} and DC: determined as proposed by Reichert et al. (2009); and (2) BD_{ref}: as proposed by Jones (1983).

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

Table 3. Soil water retention at field capacity (Θ_{FC}), available water (AW), bulk density (BD), total porosity (TP), microporosity (Mi), macroporosity (Ma), and Mi/Ma ratio in the treatments at different soil depths. Santa Maria, Brazil. Experiment 1 in the 2013/14 crop season

Tillage system	θ_{FC} (-10 kPa)	AW	BD	TP	Mi	Ma	Mi/Ma
	mm		Mg m^{-3}	m^3 m^{-3}			
				V6[1]			
				0.0-0.1 m			
Offset double disc (DD)	36^{ns}	23^{ns}	1.34 ^{ns}	0.48 c	0.36^{ns}	0.12 b	2.9:1 a
Fluted coulter disc	34	23	1.30	0.49 bc	0.36	0.14 ab	2.7:1 ab
Knife	33	23	1.28	0.51 abc	0.35	0.16 ab	2.2:1 ab
Knife + M	32	23	1.24	0.52 ab	0.34	0.19 a	1.8:1 b
Raised Bed	33	23	1.25	0.54 a	0.34	0.21 a	1.6:1 b
Chisel plough + DD	32	24	1.30	0.50 bc	0.33	0.17 ab	1.9:1 ab
Mean	33	23	1.29	0.51	0.35	0.17	2.2:1
CV (%)	5.8	8.2	5.56	3.26	5.3	18	20.45
				0.1-0.2 m			
Offset double disc (DD)	33^{ns}	19^{ns}	1.60^{ns}	0.42^{ns}	0.33^{ns}	0.10^{ns}	3.3:1^{ns}
Fluted coulter disc	30	16	1.62	0.42	0.31	0.10	3.8:1
Knife	32	19	1.44	0.49	0.33	0.16	2.1:1
Knife + M	31	19	1.48	0.45	0.33	0.14	2.5:1
Raised Bed	31	18	1.46	0.45	0.32	0.13	2.6:1
Chisel plough + DD	31	18	1.53	0.48	0.32	0.16	2.2:1
Mean	31	18	1.52	0.45	0.32	0.13	2.7:1
CV (%)	5.4	8.8	6.21	7.5	4.0	25.3	28.7
				R3[1]			
				0.0-0.1 m			
Offset double disc (DD)	37 ab	25 ab	1.41^{ns}	0.49 b	0.38 ab	0.11 c	3.5:1 a
Fluted coulter disc	39 a	28 a	1.37	0.51 ab	0.41 a	0.10 c	3.9:1 a
Knife	33 c	24 ab	1.27	0.54 a	0.40 a	0.14 bc	2.9:1 ab
Knife + M	34 bc	23 b	1.28	0.53 ab	0.35 b	0.18 ab	1.9:1 b
Raised Bed	33 c	21 b	1.26	0.55 a	0.35 b	0.20 a	1.7:1 b
Chisel plough + DD	37 ab	26 ab	1.35	0.53 ab	0.39 a	0.14 bc	2.8:1 ab
Mean	35	24	1.32	0.52	0.38	0.15	2.8:1
CV (%)	4.0	8.9	5.13	4.0	4.0	14.1	20.6
				0.1-0.2 m			
Offset double disc (DD)	35^{ns}	22 ab	1.63 ab	0.48 a	0.36^{ns}	0.13 b	2.9:1 b
Fluted coulter disc	35	22 ab	1.64 a	0.42 b	0.36	0.06 c	5.7:1 a
Knife	35	23 a	1.37 c	0.52 a	0.37	0.20 a	1.9:1b
Knife + M	34	21 b	1.35 c	0.51 a	0.35	0.16 ab	2.1:1 b
Raised Bed	35	22 ab	1.40 bc	0.52 a	0.35	0.16 ab	2.1:1 b
Chisel plough + DD	35	21 b	1.30 c	0.52 a	0.36	0.16 ab	2.2:1 b
Mean	35	22	1.45	0.49	0.36	0.15	2.8:1
CV (%)	3.5	3.5	6.9	4.6	3.4	12.1	19.75

^{ns}: no significant at $p \leq 0.05$. Means not followed by the same letter in the column differ by the Tukey test at 5 % probability. [1] Plant development stage. The methods used were according to Donagema et al. (2011); θ_{FC} and AW: determined by Richards extractor device (Soils Moisture Equipment); BD: volumetric method; TP: calculation method with particle density; Mi: table method: 0.6 m tension; Ma: difference between TP and Mi; M: press wheel mechanism for ground leveling.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

double disc system. Use of the knife runner opener near the planting row led to lower BD and greater TP in the 0.1-0.2 m layer, which is also the layer with the greatest amount of macropores in the deep tillage system.

Furthermore, the systems tested in this study influenced maximum water storage in the soil in the 0.0-0.2 m layer, and water infiltration capacity in both crop seasons. The offset double disc and the fluted coulter disc systems led to lower water storage capacity in the V6 and R3 stage (Figure 2a). In the knife runner opener, raised bed, and chisel plough systems, there was water storage capacity of 8, 9, and 6 mm, respectively, which is higher than the average of the double disc at V6, which was 11, 12, and 11 mm, respectively, which, in turn, was higher than the capacity of the offset double disc at R3. Similar results were found in the 2014/15 season (Figure 2c) in the evaluation at R3 in the knife runner opener, raised bed, and chisel plough systems, where the soil exhibited a water infiltration capacity of 12, 6, and 7 mm, which is higher than in the offset double disc system. Water infiltration capacity (Figure 2d) was highest for the chisel plough system, followed by the knife runner opener and raised bed systems (2013/14 season). These systems increased infiltration capacity by 97, 31, and 15 %, respectively, compared to the average of systems using offset double disc and fluted coulter disc. In the 2014/15 season, the increase was 173, 57, and 18 % for these same systems.

Overall, comparing the average values of all tillage systems in both seasons and evaluation periods with offset double disc values in the 0.0-0.1 m layer, there was an overall 10 %

Table 4. Soil water retention at field capacity (θ_{FC}), available water (AW), bulk density (BD), total porosity (TP), microporosity (Mi), macroporosity (Ma), and Mi/Ma ratio in the treatments at different soil depths. Santa Maria, Brazil. Experiment 1 in the 2014/15 crop season

Tillage system	θ_{FC} (-10 kPa)	AW	BD	TP	Mi	Ma	Mi/Ma
	mm		Mg m^{-3}	m^3 m^{-3}			
				R3[1]			
				0.0-0.1 m			
Offset double disc (DD)	36^{ns}	24^{ns}	1.58 a	0.38 b	0.33^{ns}	0.05 c	5.9:1 a
Fluted coulter disc	35	23	1.31 b	0.48 a	0.32	0.14 b	2.3:1 b
Knife	34	22	1.19 b	0.53 a	0.30	0.21 a	1.3:1 b
Knife[1]	36	23	1.34 b	0.47 a	0.32	0.15 ab	2.1:1 b
Raised Bed	35	23	1.34 b	0.47 a	0.32	0.15 ab	2.1:1 b
Chisel plough + DD	36	24	1.31 b	0.49 a	0.31	0.18 ab	1.7:1 b
Mean	35	23	1.34	0.47	0.32	0.15	2.6:1
CV (%)	4.6	8.3	7.38	8.26	7.6	19.5	30.47
				0.1-0.2 m			
Offset double disc (DD)	34^{ns}	23^{ns}	1.66 a	0.35 c	0.31^{ns}	0.07 c	4.5:1 a
Fluted coulter disc	34	22	1.54 ab	0.39 bc	0.29	0.09 bc	3.0:1 ab
Knife	36	23	1.37 c	0.46 a	0.32	0.13ab	2.3:1 b
Knife[1]	39	26	1.45 bc	0.43 ab	0.31	0.11 abc	2.7:1 b
Raised Bed	35	22	1.50 abc	0.41 abc	0.30	0.11 abc	2.8:1 b
Chisel plough + DD	34	22	1.40 bc	0.45 ab	0.30	0.15 a	2.2:1 b
Mean	35	23	1.49	0.41	0.31	0.11	2.9:1
CV (%)	11.0	16.7	4.76	6.77	6.15	18.72	21.8

^{ns}: no significant at $p \leq 0.05$. Means not followed by the same letter in the column differ by the Tukey test at 5 % probability. [1] Plant development stage. The methods used were according to Donagema et al. (2011); θ_{FC} and AW: determined by Richards extractor device (Soils Moisture Equipment); BD: volumetric method; TP: calculation method with particle density; Mi: table method: 0.6 m tension; Ma: difference between TP and Mi; [1]knife runner opener 0.05 m from the planting row.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

reduction in soil BD compared to the offset double disc system, as well as a 13 % increase in porosity and 76 % increase in soil macroporosity compared to the offset double disc.

In the 0.1-0.2 m layer, BD decreased by 11 % comparing the average of all systems with the offset double disc. In addition, there was an increase of 11 % in TP and 35 % in Macro in the average of all systems compared to the offset double disc.

As a result, the offset double disc had the lowest grain yield, with an average yield of 4082 and 3759 kg ha^{-1} in the 2013/14 and 2014/15 crop season, respectively, compared to the knife runner opener raised bed, and chisel plough systems, where the grain yield values were 4405, 4345 and 4484 kg ha^{-1} for the 2013/14 season, respectively, and 4327, 4013, and 4749 kg ha^{-1} for the 2014/15 season, respectively (Sartori et al., 2015).

Experiment 2

Soil physical properties (Table 2) also indicated the presence of compacted soil up to the depth of 0.2 m, which was more evident in the 0.0-0.1 m layer. Noteworthy is the high value of BD, over 1.6 Mg m^{-3}, and the low macroporosity, less than 0.05 m^3 m^{-3}, in both layers. Moreover, in both layers evaluated (0.0-0.1 and 0.1-0.2 m), the density values observed were higher than the restrictive reference density values for plant and root growth (Table 2), which can also be observed by the degree of compaction (DC) higher than 100 %.

This experiment did not show any differences in soil water retention and availability and microporosity in the soil during the V6 stage (Table 5). During the same period of evaluation, there was a lower BD and micropore/macropore ratio for knife runner opener and chisel plough systems. Moreover, these systems led to an increase in Macro and TP compared to the offset double disc and fluted coulter disc systems in the 0.0-0.1 m layer. In the 0.1-0.2 m layer, the knife runner opener system caused the greatest reduction in BD and the micropore/macropore ratio, as well as

Figure 1. Tillage systems used for soybean: sowing with offset double disc (a); sowing with a fluted coulter disc (b); sowing with a knife runner opener (c); sowing with a knife runner opener + press wheel mechanism for ground levelling (1) (d); sowing with knife 0.05 m from the planting row (e); raised bed system (f); and chisel plough + sowing using an offset double disc (g). Arrow indicates position in which the soil press wheel mechanism for ground levelling was placed.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

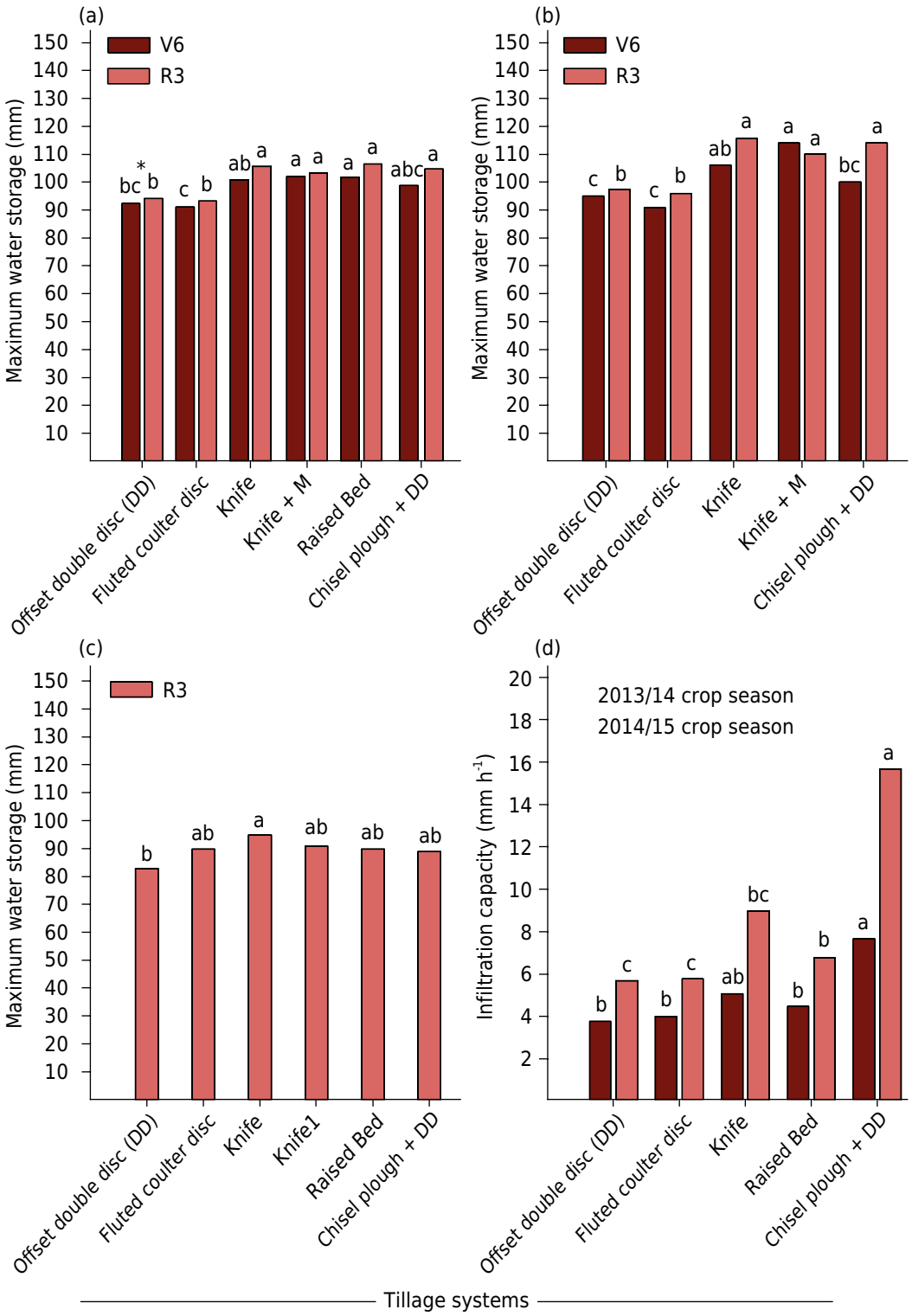

Figure 2. Maximum water storage in the soil at 0.0-0.2 m as a function of tillage systems in V6 and R3 plant growth stages in Santa Maria, 2013/14 (a) and 2014/15 (c) crop seasons; and Formigueiro 2013/14 crop season (b). Water infiltration capacity in soil in Santa Maria, Brazil (d). Experiment 1, 2013/14 and 2014/15 crop seasons. Bars followed by the same letters do not differ significantly by the Tukey test at 5 % probability.

increased TP and Macro of the soil. In stage R3, in both the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers, the offset double disc and fluted coulter disc systems showed the highest BD values and micropore/macropore ratio. In addition, these systems exhibited increased micropores in the 0.0-0.1 m layer. For the knife runner opener and chisel plough systems, there was a reduction in BD, an increase in TP and Macro, and a reduction in the micropore/macropore ratio.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

Table 5. Soil water retention at field capacity (θ_{FC}), available water (AW), bulk density (BD), total porosity (TP), microporosity (Mi), macroporosity (Ma), and Mi/Ma ratio in the treatments at different soil depths. Formigueiro, Brazil. Experiment 2 in the 2014/15 crop season

Tillage system	θ_{FC} (-10 kPa)	AW	BD	TP	Mi	Ma	Mi/Ma
	mm		Mg m^{-3}	m^3 m^{-3}			
				V6[1]			
				0.0-0.1 m			
Offset double disc (DD)	33^{ns}	24^{ns}	1.46 ab	0.43 ab	0.35^{ns}	0.08 ab	5.1:1 ab
Fluted coulter disc	35	26	1.55 a	0.39 b	0.36	0.04 b	8.6:1 a
Knife	31	23	1.29 b	0.49 a	0.34	0.16 a	2.4:1 b
Knife + M	31	23	1.30 ab	0.49 ab	0.33	0.16 a	2.1:1 b
Chisel plough + DD	32	26	1.27 b	0.50 a	0.35	0.19 a	2.3:1 b
Mean	33	25	1.4	0.46	0.34	0.12 a	4.1:1
CV (%)	6.5	6.3	8.2	9.5	7.4	39.9	40.8
				0.1-0.2 m			
Offset double disc (DD)	35^{ns}	24^{ns}	1.46 a	0.43 b	0.35^{ns}	0.07 b	5.3:1 a
Fluted coulter disc	34	28	1.47 a	0.42 b	0.37	0.07 b	5.6:1 a
Knife	33	27	1.28 b	0.50 a	0.34	0.16 a	2.1:1 b
Knife + M	32	23	1.31 ab	0.49 ab	0.34	0.15 a	2.3:1 b
Chisel plough + DD	33	25	1.38 ab	0.46 ab	0.35	0.12 ab	2.9:1 ab
Mean	33	25	1.38	0.46	0.35	0.11	3.6:1
CV (%)	8.8	9.2	5.4	6.3	8.9	21.1	32.2
				R3[1]			
				0.0-0.1 m			
Offset double disc (DD)	37 a	26 ab	1.43 ab	0.44 bc	0.36 a	0.07 a	5.2:1 a
Fluted coulter disc	38 a	27 a	1.57 a	0.38 c	0.37 a	0.05 a	6.9:1 a
Knife	31 b	23 bc	1.30 bc	0.49 ab	0.32 ab	0.17 b	2.0:1 a
Knife + M	30 b	22 c	1.28 c	0.50 a	0.30 b	0.19 b	1.7:1 b
Chisel plough + DD	32 b	24 abc	1.21 c	0.52 a	0.32 ab	0.20 b	1.7:1 b
Mean	33	24	1.36	0.47	0.34	0.14	3.5
CV (%)	6.0	6.0	4.8	5.62	6.4	23.4	37.9
				0.1-0.2 m			
Offset double disc (DD)	37^{ns}	27^{ns}	1.52 a	0.40 b	0.37^{ns}	0.04 b	9.5:1 a
Fluted coulter disc	38	27	1.54 a	0.40 b	0.37	0.04 b	10.6:1 a
Knife	35	27	1.22 b	0.52 a	0.36	0.16 a	2.3:1 b
Knife + M	35	25	1.22 b	0.52 a	0.36	0.16 a	2.2:1 b
Chisel plough + DD	33	28	1.22 b	0.52 a	0.36	0.16 a	2.5:1 b
Mean	36	27	1.35	0.47	0.36	0.11	5.4:1
CV (%)	8.9	15.0	6.9	7.6	12.1	28.2	35.7

^{ns}: no significant at $p \leq 0.05$. Means not followed by the same letter in the column differ by the Tukey test at 5 % probability. [1] Plant development stage. The methods used were according to Donagema et al. (2011); θ_{FC} and AW: determined by Richards extractor device (Soils Moisture Equipment); BD: volumetric method; TP: calculation method with particle density; Mi: table method: 0.6 m tension; Ma: difference between TP and Mi; M: press wheel mechanism for ground leveling.

Furthermore, the shank and deep tillage systems showed greater water storage in the soil compared to the offset double disc system. These systems showed an increase of 11 and 5 mm in V6, and 18 and 17 mm in R3 in water storage, respectively, compared to the offset double disc system.

In the 0.0-0.1 m layer, considering the average values for fluted coulter disc, knife runner opener , knife runner opener + press wheel mechanism for ground levelling,

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

and chisel plough systems in both evaluation periods, there was a 7 % reduction in BD in relation to the offset double disc system. Moreover, in the double disc system, the TP and macropores in the soil were 8 and 93 %, respectively, which is lower than the averages of the other systems. These systems in the 0.1-0.2 m layer reduced BD by 11 % when compared to the offset double disc system, and showed an increase from 15 to 132 % in TP and Macro.

Therefore, grain yield in the offset double disc system had the lowest average, with an average yield of 2642 kg ha^{-1}, compared to the knife runner opener system, which was 2970 kg ha^{-1}, and the chisel plough system, which was 2698 kg ha^{-1} (Sartori et al., 2015).

DISCUSSION

The soils on which the experiments were preformed have a layer of high BD near the soil surface. The 0.1-0.2 m layer in Experiment 1 and the 0.0-0.1 m layer in experiment 2 stand out mainly because of their higher BD values (Nunes et al., 2014), which resulted in poor aeration porosity (Gubiani et al., 2014; Nunes et al., 2014). This may be related to the fact that, in Experiment 1, the area was used for growing irrigated rice, where decompaction of the soil occurred as deep as 0.07 m, mainly due to the tillage practice of discing (Munareto et al., 2010). This partially explains the lower density of the surface layer (0.0-0.1 m) in the area of Experiment 1. The increased BD values in the 0.1-0.2 m layer may be associated with the fact that the areas in which Experiment 1 took place were systematized in both crop seasons. In a study carried out by Nunes et al. (2002) in Albaqualf soils in the municipality of São João do Polêsine about 40 km northeast from the town of Santa Maria, researchers found that systematization increased soil subsurface density, due to the traffic of heavy machinery. Similarly, Parfitt et al. (2014) found that the average BD of 1.60 Mg m^{-3} (prior to systematization) changed to 1.67 Mg m^{-3} as result of the systematization process and machine traffic. Thus, a denser soil layer in the areas of Experiment 1 may also be associated with the systematization process of the area. In addition, the study carried out by Pedrotti et al. (2001), evaluating the compaction of an Albaqualf soil under different management systems, found that all of the tillage systems evaluated had soil mechanical resistance to penetration values higher than 2.0 MPa, especially in the 0.1-0.2 m layer, and maximum resistance values were observed in the management system with continuous irrigated rice crops. According to the same author, conventional tillage contributes to physical degradation of the soil due to increased soil mechanical resistance to penetration.

In Experiment 2 of this study, beef cattle were raised in the area prior to the experiment; due to cattle trampling, the higher density layer was concentrated closer to the soil surface. A study conducted by Capurro et al. (2014) found a higher density in the 0.09 to 0.12 m layer and associated this result with accumulation of pressures imposed by animal trampling. Another study by Vzzotto et al. (2000), also evaluating the changes in physical properties of an Albaqualf soil subjected to cattle trampling, found reduced porosity and increased BD in the top 0.05 m layer.

The effects of tillage systems in reducing soil compaction in planting rows were more expressive in the deeper layer (0.1-0.2 m). This may be associated with the presence of higher organic matter content in soil surface, greater microorganism activity and wetting and drying cycles that contribute to differentiation between the soil layers (Drescher et al., 2011), and higher root volume, which do not allow significant changes in BD (Capurro et al., 2014). In addition, from the uppermost soil layer to approximately 0.07 m in depth, the effect of tillage equipment on the soil is greater (Munareto et al., 2010), which contributes to a reduction in soil compaction. The double and notched disc tillage systems had the least impact on reduction in BD in the soybean crop in the planting row, and this can be explained by less action in depth and lateral soil movement in the planting row of these systems compared to the knife runner opener raised bed, and chisel plough systems.

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

However, the fluted coulter disc, by having a larger contact area, could also be an important tool for soil decompression in the planting row. A study conducted by Santos et al. (2010) found that notched discs affected the soil less than flat blades. According to these authors, these results may be due to the fact that there is no additional load on the equipment to increase its penetration in the soil. In this regard, Mion and Benez (2008), evaluating the efforts of five furrow opening mechanisms (even discs, corrugated discs, undulated discs, double discs, and shanks) with variation in vertical load, found that the shank promotes greater soil mobilization with less horizontal effort, reaching higher work depths because only the tip of the shank promotes resistance.

As for the discs, according to the Mion and Benez (2008), more power is needed for them to penetrate, cut through soil and straw, and overcome rolling resistance and friction on the sides of the discs. These authors found that the wave disc showed the greatest lateral force values in relation to other mechanisms for vertical loads of 1500, 2250, and 3000 N. Considering the average of all vertical loads in absolute numbers, the soil area mobilized by the corrugated disc was second only to the shank. Thus, in our study the reduced impact of the fluted coulter disc system can be partially explained by the lack of load on the seeder to provide greater penetration and decompression effect on the compacted soil layer.

Offset double disc and fluted coulter disc were less effective in reducing BD and increasing Macro, as observed in both experiments. In contrast, shank, raised bed, and chisel plough systems had positive effects in terms of reducing BD and increasing the percentage of macropores and TP. This response may be associated with the different working depths of the systems. The soil depth for the shank was approximately 0.18 m at the time of sowing, 0.12 m for the raised beds, and 0.25 m for the chisel plough system. The depth of the offset double disc and fluted coulter disc in soil was approximately 0.1 and 0.08 m, respectively.

The lower effect of the offset double disc may be associated with its performance at shallower soil depths (Drescher et al., 2011). The our results are in agreement with those obtained by Koakoski et al. (2007), wherein the breaker type knife system promoted, on average, a 24.3 % increase in soil porosity compared to the offset double disc system. Increasing the depth of action of the shanks (0.17 m) increases the volume of soil favorable to root growth, due to the reduction of the compacted layer in the planting row (Nunes et al., 2014). These authors found that use of the shank leads to increased Macro and TP and BD and resistance to penetration of the compacted layer in the planting row, corroborating the results found in this study. This reduction in BD and consequent increase in TP are related to increased Macro.

Except for Experiment 1 during the 2013/14 crop season, in the offset double disc system, macro was under 10 %, which may be critical since gas flow and water movement in the soil are closely related to Macro to ensure root oxygenation (Silva et al., 2005). This may be related to the maintenance of high levels of BD; soils with lower density have higher porosity (Gubiani et al., 2014).

Soybean tillage systems howed less effect on water retention and availability compared to other variables, possibly because these properties are more influenced by soil properties. Soils with finer particles (clay or silt) and higher organic matter content have higher water retention, because organic matter is important for water availability and retention (Reichert et al., 2009b). Furthermore, Klein and Libardi (2000) report that the soil structure and texture, type and amount of clay, and organic matter content are the factors that affect water availability to crops.

Soil microporosity (Micro) was also little affected in either experiment by the tillage systems evaluated, corroborating results found by Drescher et al. (2011), in which Micro did not respond to soil management practices, because it is a soil characteristic .

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

An important effect of the tillage systems on the soil was increased water infiltration capacity, especially for the chisel plough and knife runner opener systems. This can be explained by greater reduction in BD in the deepest soil layer studied (0.1-0.2 m) for these systems, and consequent increase in hydraulic conductivity (Camara and Klein, 2005). The changes caused by agricultural use on pore distribution, mechanical properties, and water and gas transport processes within the soil are related to BD (Gubiani et al., 2014). In addition, an increase in BD decreases soil water content (Gubiani et al., 2015).

Increased soil macroporosity with the use of chisel plough, knife runner opener, and raised bed systems may have contributed to increased capacity for water infiltration because water infiltration can decrease when there are compacted layers, due to reduced Macro (Bonini et al., 2011). These results are consistent with studies from Camara and Klein (2005), in which soil tillage to an average depth of 0.25 m increased the water infiltration rate.

Increased infiltration capacity for chisel plough, knife runner opener, and raised bed systems may explain why these systems had greater soil water storage potential. The greater quantity of macropores facilitates drainage and contributes to water storage in the soil layers underlying excess water which infiltrates the tillage layer (Kunz et al., 2013).

Finally, based on the results obtained in the two experiments, chisel plough, knife runner opener and raised bed systems reduce BD in the planting row. These systems improve the hydro-physical characteristics of the soil, such as BD, TP, Macro, infiltration capacity, and water storage in the soil, resulting in higher grain yield in Albaqualf soils with the presence of a compacted layer near the soil surface. The offset double disc and fluted coulter disc systems showed less effect on BD reduction in the planting row under the conditions simulated by these experiments.

CONCLUSIONS

Soybean tillage systems with the use of offset double disc and fluted coulter disc showed less effect of tillage and maintained higher bulk density layer in the planting row.

Chisel plough, raised bed, and knife runner opener systems reduce soil bulk density in the planting row, thus increasing total porosity, macroporosity, and grain yield.

Chisel plough and the use of knife runner opener increase water infiltration rate and storage in the soil.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for providing the first author with a fellowship. We also wish to acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for providing a research fellowship to the second author and a doctoral studies grant to the first author, as well as the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) for providing a scholarship to the third author.

REFERENCES

Bamberg AL, Pauletto EA, Gomes AS, Timm LC, Pinto LFS, Lima ACR, Silva TR. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. Rev Bras Cienc Solo. 2009;33:1079-86. doi:10.1590/S0100-06832009000500001

Bonini AK, Secco D, Santos RF, Reinert DJ, Reichert JM. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. Cienc Rural. 2011;41:1543-8. doi:10.1590/S0103-84782011005000122

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

Borges JR, Pauletto EA, Sousa RO, Pinto LFS, Leitzke VW. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. Rev Bras Agrocienc. 2004;10:83-6. doi:10.18539/cast.v10i1.681

Camara RK, Klein VA. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. Rev Bras Cienc Solo. 2005;29:789-96. doi:10.1590/S0100-06832005000500014

Capurro EPG, Secco D, Reichert JM, Reinert DJ. Compressibilidade e elasticidade de um Vertissolo afetado pela intensidade de pastejo bovino. Cienc Rural. 2014;44:283-8. doi:10.1590/S0103-84782014000200014

Carlesso R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. Cienc Rural. 1995;25:183-8. doi:10.1590/S0103-84781995000100035

Costa A, Albuquerque JA, Almeida JA, Costa A, Luciano RV. Pedotransfer functions to estimate retention and availability of water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil. Rev Bras Cienc Solo. 2013;37:889-910. doi:10.1590/S0100-06832013000400007

Donagema GK, Campos DVB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JHM. Manual de métodos de análise de solo. 2a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.

Drescher MS, Eltz FLF, Denardin JE, Faganello A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. Rev Bras Cienc Solo. 2011;35:1713-22. doi:10.1590/S0100-06832011000500026

Gubiani PI, Jong van Lier Q, Drescher MS, Mezzomo HC, Veiga CMC. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. Rev Bras Cienc Solo. 2015;39:100-8. doi:10.1590/01000683rbcs20150317

Gubiani PI, Reinert DJ, Reichert JM. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. Cienc Rural. 2014;44:994-1000. doi:10.1590/S0103-84782014000600007

Jones CA. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Sci Soc Am J. 1983;47:1208-11. doi:10.2136/sssaj1983.03615995004700060029x

Kaiser DR, Reinert DJ, Reichert JM, Collares GL, Kunz M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. Rev Bras Cienc Solo. 2009;33:845-55. doi:10.1590/S0100-06832009000400009

Klein VA, Libardi PL. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. Cienc Rural. 2000;30:959-64. doi:10.1590/S0103-84782000000600006

Koakoski A, Souza CMA, Rafull LZL, Souza LCF, Reis EF. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. Pesq Agropec Bras. 2007;42:725-31. doi:10.1590/S0100-204X2007000500016

Kunz M, Gonçalves ADMA, Reichert JM, Guimarães RML, Reinert DJ, Rodrigues MF. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. Rev Bras Cienc Solo. 2013;37:1699-708. doi:10.1590/S0100-06832013000600026

Marchezan E, Vizzotto VR, Rocha MG, Moojen EL, Silva JHS. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. Cienc Rural. 2002;32:303-8. doi:10.1590/S0103-84782002000200020

Mazurana M, Fink JR, Silveira VH, Levien R, Zulpo L, Brezolin D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. Rev Bras Cienc Solo. 2013;37:1185-95. doi:10.1590/S0100-06832013000500008

Mentges MI, Reichert JM, Gubiani PI, Reinert DJ, Xavier A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. Rev Bras Cienc Solo. 2013;37:221-31. doi:10.1590/S0100-06832013000100023

Mion RL, Benez SH. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. Cienc Agrotec. 2008;32:1594-600. doi:10.1590/S0103-84782009005000067

Edited with the trial version of Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit: www.foxitsoftware.com/shopping

Munareto JD, Beutler NA, Ramão CJ, Dias NP, Ramos PV, Pozzebon BC, Alberto CM, Hernandes GC. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. Pesq Agropec Bras. 2010;45:1499-506.

Nunes ML, Klamt E, Reichert JM, Dalmolin RSD. Características de solos sistematizados em duas áreas cultivadas com arroz sob inundação. Rev Bras Cienc Solo. 2002;26:395-406. doi:10.1590/S0100-06832002000200013

Nunes MR, Denardin JE, Faganello A, Pauletto EA, Pinto LFS. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. Rev Bras Cienc Solo. 2014;38:627-38. doi:10.1590/S0100-06832014000200027

Parfitt JMB, Timm LC, Reichardt K, Pauletto EA. Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. Rev Bras Cienc Solo. 2014;38:315-26. doi:10.1590/S0100-06832014000100032

Pedrotti A, Pauletto EA, Crestana S, Ferreira MM, Dias Junior MS, Gomes AS, Turatti AL. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Rev Bras Cienc Solo. 2001;25:521-9. doi:10.1590/S0100-06832001000300001

Reichert JM, Dariva TA, José Reinert D, Silva VR. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. Cienc Rural. 2008;38:981-8. doi:10.1590/S0103-84782008000400012

Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ, Horn R, Hakansson I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil Till Res. 2009a;102:242-54. doi:10.1016/j.still.2008.07.002

Reichert JM, Albuquerque JA, Kaiser DR, Reinert DJ, Urach FL, Carlesso R. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. Rev Bras Cienc Solo. 2009b:33:1547-60. doi:10.1590/S0100-06832009000600004

Santos AJM, Gamero CA, Backes C, Salomão LC, Bicudo SJ. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidade de cobertura vegetal. Rev Energ Agric. 2010;25:17-30. doi:10.17224/EnergAgric.2010v25n4p17-30

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbreras JF, Cunha TJF. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013.

Sartori GMS, Marchesan E, David RD, Carlesso R, Petry MT, Donato G, Filho AC, Silva MF. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. Pesq Agropec Bras. 2015;50:1139-49. doi:10.1590/S0100-204X2015001200003

Sato JH, Figueiredo CC, Leão TP, Ramos MLG, Kato E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. Rev Bras Eng Agríc Amb. 2012;16:189-93. doi:10.1590/S1415-43662012000200009

Silva MAS, Mafra AL, Albuquerque JA, Bayer C, Mielniczuk J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Cienc Rural. 2005;35:544-52. doi:10.1590/S0103-84782005000300009

Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 12th ed. Washington, DC: USDA; 2014.

Spera ST, Santos HP, Fontaneli RS, Dreon G. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. Rev Bras Cienc Agrár. 2012;7:388-93. doi:10.5039/agraria.v7i3a1227

Thomas AL, Pires JLF, Menezes VG. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. Pesq Agropec Gaúcha. 2000;6:107-12. doi:10.1590/S0103-84781998000400002

Valicheski RR, Grossklaus F, Sturmer SLK, Tramontin AL, Baade ESAS. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. Rev Bras Eng Agríc Amb. 2012;16:969-77. doi:10.1590/S1415-43662012000900007

Vzzotto VR, Marchezan E, Segabinazzi T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. Cienc Rural. 2000;30:965-9. doi:10.1590/S0103-84782000000600007

Edited with the trial version of
Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit:
www.foxitsoftware.com/shopping

Resumos

SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO E IRRIGAÇÃO AFETAM O RENDIMENTO DE SOJA EM ROTAÇÃO COM O ARROZ IRRIGADO

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori[1]; Enio Marchesan[2]; Ricardo De David[4]; Reimar Carlesso[3]; Mirta Teresinha Petry[3]; João Alberto Pedroso Farenzena[4]

Palavras chave: compactação do solo, nodulação, mecanismos da semeadora.

INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Sul, a soja é uma das principais culturas de expressão econômica. Atualmente, o uso de áreas de arroz irrigado vêm sendo intensificadas com o cultivo dessa leguminosa, principalmente em razão da infestação de parte destas áreas por plantas de difícil controle, como o arroz-vermelho. Nesse sentido, o cultivo da soja em rotação com o arroz irrigado é uma alternativa eficiente, pois pode minimizar a incidência de plantas daninhas e permitir o uso de herbicidas alternativos (CHRISTOFFOLETI, 1994), além de proporcionar benefícios relacionados à fixação de nitrogênio, e quebra do ciclo de insetos-praga e doenças (THOMAS et al., 2000). No entanto, devido principalmente a presença de uma camada compactada próximo à superfície do solo, o desempenho agronômico dessa cultura pode ser prejudicado. Em anos de déficit hídrico, essa camada compactada pode limitar o crescimento radicular em profundidade e consequentemente afetar a absorção de água e de nutrientes. Somado a isso, essa camada compactada do solo reduz a infiltração de água, contribuindo para ocorrência de alagamentos em anos de El Ninõ, o qual interfere no conteúdo de oxigênio, e consequentemente na nodulação, podendo comprometer o rendimento de grãos de soja.

A escolha de um sistema adequado de implantação da cultura pode proporcionar o sucesso ou não da soja em rotação com o arroz irrigado. Em função disso, torna-se importante o estudo de sistemas de implantação, necessitando o conhecimento da escarificação do solo, da semeadura em microcamalhão e de sistemas utilizando haste sulcadora ou outro mecanismo da semeadora como o disco ondulado e o duplo desencontrado no desempenho dessa cultura. Além disso, a água é um dos principais fatores do rendimento de grãos de soja (FERNANDES & TURCO, 2003), necessitando também avaliar o efeito da irrigação nessa cultura, visto que parte das áreas de arroz irrigado são sistematizadas, havendo com isso possibilidade de se realizar irrigação por faixas.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado nas safras de 2013/14 e 2014/15 em área de várzea sistematizada pertencente a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul. Para cada safra, o experimento foi realizado em áreas diferentes. O solo em que foi realizado esse experimento em ambas as safras é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, em esquema fatorial (6x2), em faixas, com quatro repetições. O fator A foi composto por diferentes sistemas de implantação: semeadura com disco duplo desencontrado (A1); semeadura com disco ondulado de 12 ondas (A2); semeadura com haste sulcadora (A3); semeadura com haste sulcadora + mecanismo de acomodação do solo (A4); semeadura em microcamalhão (A5) e escarificação do solo + semeadura com disco duplo desencontrado (A6). O fator D: com irrigação (D1) e sem irrigação (D2). Na safra de 2014/15, alterou-se o fator A4 (semeadura com haste sulcadora + mecanismo de acomodação do solo) por semeadura com haste sulcadora desencontrada 5 cm da linha de semeadura.

A escarificação do solo no experimento foi realizada aos 45 e 19 dias antes da semeadura para a safra de 2013/14 e 2014/15, respectivamente. A profundidade da escarificação foi de 25 cm, sendo o espaçamento entre as hastes do escarificador de 35 cm. A profundidade de trabalho da haste sulcadora, microcamalhão, disco duplo e disco ondulado no solo foram aproximadamente de 18; 12; 10 e 08 cm, respectivamente.

A semeadura dos experimentos foi realizada nos dias 7 e 14 de novembro de 2013 e 2014, respectivamente, utilizando uma semeadora adubadora pantográfica. Em decorrência de uma precipitação pluvial de 245 mm aos dois dias após a semeadura na safra 2013/14, foi realizada a ressemeadura do experimento no dia 26 de novembro de 2013.

A adubação de base na safra de 2013/14 foi de 30 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O. Em função da ressemeadura utilizou-se mais 10 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 20 kg ha^{-1} de K_2O. Na safra de 2014/15 a adubação de base foi de 13 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 55 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 87 kg ha^{-1} de K_2O. Os demais tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para cultura (EMBRAPA, 2013).

Na safra de 2013/14 foi realizada uma irrigação por faixas, aplicando-se uma lâmina de irrigação de 55 mm quando a umidade média do solo se encontrava em 58% da capacidade de campo (CC) na profundidade de 0-20 cm, no estádio V4 das plantas. Foram realizadas duas irrigações na safra de 2014/15, sendo uma no estádio R3 de 41 mm e a outra em R5 de 46 mm, segundo escala de FEHR & CAVINESS, 1977. A umidade do solo na camada de 0-20 cm em R3 e R5 estava 60,6% e 54,2% da CC, respectivamente.

Nos estádios V6 e R3, coletou-se um monólito de solo de 40 x 20 cm de largura e profundidade, com as raízes de cinco plantas para avaliar a nodulação. As raízes foram lavadas em água corrente, e levadas para laboratório onde se avaliou o número de nódulos ≥ 2 mm por planta, a viabilidade de nódulos e massa seca dos nódulos. Para a viabilidade dos nódulos, os mesmos foram seccionados ao meio com estilete considerando-se não viável aquele nódulo que não apresentou cor rósea (VIEIRA NETO et al., 2008), sendo os resultados expressos em percentagem. Para obtenção da massa seca dos nódulos, após a avaliação da viabilidade os mesmos foram secos em estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 65 °C até peso constante, e posteriormente obtendo-se a massa seca em balança de precisão. A produtividade de grãos foi determinada em área útil de 15 m^2.

Os valores de precipitação pluvial durante o período de realização do experimento nas duas safras foram obtidos da estação meteorológica automática do 8° DISME/INMET localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM. Os resultados avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros). A análise da variância dos dados do experimento foi realizada através do teste F. As médias dos fatores, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de implantação e a irrigação influenciaram na nodulação e no rendimento de grãos de soja nas duas safras de estudo. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, houve maior número de nódulos por planta, e massa seca de nódulos no sistema com

[1] Eng. Agr M.Sc. Grupo de pesquisa em Arroz Irrigado da Universidade Federal de Santa Maria. Avenida Roraima nº 1000, Bairro Camobi, CEP: 97105-900 email:gersonmss@yahoo.com.br
[2] Eng. Agr. Dr. Universidade Federal de Santa Maria
[3] Eng. Agr. Dr. Universidade Federal de Santa Maria
[4] Alunos do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria

escarificação do solo em V6 na safra 2013/14. Na safra de 2014/15, os resultados foram semelhantes, em que a escarificação do solo, seguido da semeadura com haste sulcadora e em microcamalhão proporcionaram maior número e massa seca de nódulos em V6 e R3. As plantas apresentaram menor número e massa seca de nódulos nos sistemas utilizando a semeadura com disco duplo desencontrado e disco ondulado de 12 ondas. Além disso, observou-se maior número de nódulos inviáveis no estádio V6 onde foi realizada a semeadura com disco duplo em área sem escarificação do solo (Tabela 1 e 2). Esses resultados podem ser decorrentes de um menor efeito de rompimento da camada compactada do solo pelo disco ondulado e disco duplo na linha de semeadura em comparação aos demais sistemas testados, visto que a presença de uma camada compactada interfere negativamente a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (SICZEK & LIPIEC, 2011). De acordo com LANZA et al. (2013), um dos efeitos indiretos da presença de uma camada compactada do solo na fixação biológica de nitrogênio ocorre pela redução do conteúdo de oxigênio no solo, o que inviabiliza a respiração das raízes das plantas.

Tabela 1 – Número de nódulos por planta (NNP), massa seca de nódulos por planta (MSNP) e percentual de nódulos inviáveis (NI) nos estádios V6 e R3, em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Cultivar BMX Tornado, Santa Maria safras 2013/14 e 2014/15, RS. 2015.

Sistemas de implantação	NNP		MSNP[3] (mg planta^{-1})		NI%[3]	
	V6[1]	R3[1]	V6	R3	V6	R3
	Safra 2013/14					
Disco duplo (DD)	35,5 d*	88,4 ns	100,6 c			
Disco ondulado	51,9 bc	96,5	150,0 b			
Haste	53,6 bc	86,1	192,4 b			
Haste + MAS	61,8 ab	86,8	179,3 b			
Microcamalhão	42,3 cd	102,9	169,2 b			
Escarificado + DD	71,0 a	99,7	253,0 a			
Irrigação						
Com irrigação	54,7 ns	102,9 ns	193,3 a			
Sem irrigação	50,7	83,6	154,9 b			
Média	52,7	93,2	174,1			
CV (%)	17,8	21,1	24,8			
	Safra 2014/15					
Disco duplo (DD)	15,0 c*	54,5 c	116,6 b	461,1 c	2,8 a	5,2 ns
Disco ondulado	19,6 bc	52,4 c	122,2 b	522,7 c	0,8 b	3,6
Haste	25,3 b	79,9 bc	222,2 a	642,2bc	0,4 b	4,0
Haste desencontrada[2]	25,6 b	74,8 bc	188,9 ab	667,7 bc	0,3 b	4,3
Microcamalhão	22,0 b	88,2 b	175,0 ab	760,0 ab	1,0 ab	2,3
Escarificado + DD	37,7 a	126,4 a	211,1 a	946,7 a	0,2 b	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

[ns] Não significativo em nível p≤0,05; * Médias não seguidas da mesma minúscula na coluna diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. MAS = mecanismo de acomodação do solo; [1]estádio de desenvolvimento das plantas; [2]haste desencontrada 5 cm da linha de semeadura; [3] houve interação entre os fatores para MSNP em R3 e NI em V6 e R3 na safra 2013/14.

Além dos sistemas de implantação, a irrigação também interferiu na nodulação, proporcionando maior massa seca de nódulos em V6 e em R3 para a maioria dos sistemas (Tabela 1 e 2, respectivamente). Conforme KING et al. (2014), a fixação biológica de nitrogênio é o processo metabólico mais sensível ao déficit de água em plantas de soja.

Tabela 2 – Massa seca de nódulos por planta (MSNP) no estádio R3 e percentual de nódulos inviáveis (NI) nos estádios V6 e R3, em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Cultivar BMX Tornado, Santa Maria safra 2013/14, RS. 2015.

Sistemas de implantação	MSNP (mg planta^{-1})		NI (%)			
	CI	SI	CI	SI	CI	SI
	R3[1]		V6[1]		R3	
Disco duplo (DD)	352,2 NSc	289,0 ab*	3,4 Bns	11,9 Aa	6,1 NSns	7,6 ns
Disco ondulado	763,6 Aa	237,2 Bb	1,2 B	3,1 Ab	4,6 NS	3,8
Haste	591,1 Aab	438,3 Ba	1,7 NS	2,8 b	5,4 NS	6,7
Haste + MAS	591,1 Aab	296,6 Bab	1,2 NS	0,9 b	2,6 B	7,7 A
Microcamalhão	526,7 NSbc	421,1 ab	2,0 NS	2,1 b	6,0 NS	4,9
Escarificado + DD	570 Aab	306,6 Bab	2,8 NS	2,7 b	4,5 NS	4,2
Média	565,8	331,5	2,1	3,9	4,9	5,8
CV (%)	19,7		35,3		34,4	

[NS] Não significativo em nível p≤0,05 na linha; [ns] Não significativo em nível p≤0,05 na coluna; * Médias não seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. MAS = mecanismo de acomodação do solo; [1]estádio de desenvolvimento das plantas; CI = com irrigação; SI = sem irrigação.

Em função dos sistemas de implantação bem como a irrigação terem afetados os parâmetros relacionados à nodulação das plantas de soja, houve interferência destes fatores no rendimento de grãos da cultura. Conforme os resultados apresentados na Tabela 3 houve maior rendimento de grãos no sistema com escarificação do solo. Esse sistema proporcionou um incremento de 10% no rendimento em comparação ao disco duplo. Na safra de 2014/15, o sistema com escarificação do solo, seguido da semeadura com haste e haste desencontrada 5 cm proporcionaram rendimento de 26, 15 e 12% superior ao disco duplo em área sem escarificação do solo.

Uma irrigação de 55 mm realizada em V4 resultou em aumento de 10% no rendimento de grãos na safra de 2013/14 e 8% na safra de 2014/15 com duas irrigações, sendo uma na quantidade de 41 mm no estádio R3 e a outra de 46 mm em R5. De acordo com RUVIARO et al. (2011), o uso da irrigação está diretamente relacionada à expressão do potencial da cultura. Além disso, o aumento do rendimento de grãos em função da irrigação e também no sistema com escarificação do solo, e na semeadura em microcamalhão e com haste sulcadora pode estar relacionado à maior nodulação das plantas, o qual foi verificado no presente trabalho, pois a nodulação é um fator importante no rendimento de grãos, estando correlacionada com 40% do rendimento (BRANDELERO et al., 2009). Nas duas safras, o rendimento de grãos foi elevado, e que exceto nas épocas em que foi necessário realizar irrigação, e que apresentou resposta na nodulação e no rendimento de grãos, para os demais períodos de desenvolvimento das plantas houve adequada distribuição de precipitação pluvial (Figura 1), atingindo as exigências da planta no nível de rendimento obtido.

Por fim, os sistemas de implantação e a irrigação são duas tecnologias que interferem no rendimento de grãos de soja em rotação com o arroz irrigado. A presença de uma camada compactada próxima à superfície do solo nessas áreas influencia negativamente no potencial dessa cultura. Com isso, o uso da irrigação em períodos de difícil hídrico e a escolha de um sistema de implantação que rompe parte dessa

camada compactada do solo, culminará o sucesso da soja nas áreas de arroz irrigado.

Tabela 3 – Rendimento de grãos em função dos sistemas de implantação e da irrigação. Cultivar BMX Tornado, Santa Maria safras 2013/14 e 2014/15, RS. 2015.

Sistemas de implantação	---------- Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) ----------	
	Safra 2013/14	Safra 2014/15
Disco duplo (DD)	4082 b*	3759 d
Disco ondulado	4273 ab	3829 cd
Haste	4405 ab	4327 b
Haste + MAS	4107 b	-
Haste desencontrada[1]	-	4222 b
Microcamalhão	4345 ab	4013 c
Escarificado + DD	4484 a	4749 a
Irrigação		
Com irrigação	4444 a	4311 a
Sem irrigação	4121 b	3988 b
Média	4283	4150
CV (%)	7,4	3,14

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em 5% de probabilidade de erro. MAS = mecanismo de acomodação do solo. [1] Haste desencontrada da linha de semeadura 5 cm.

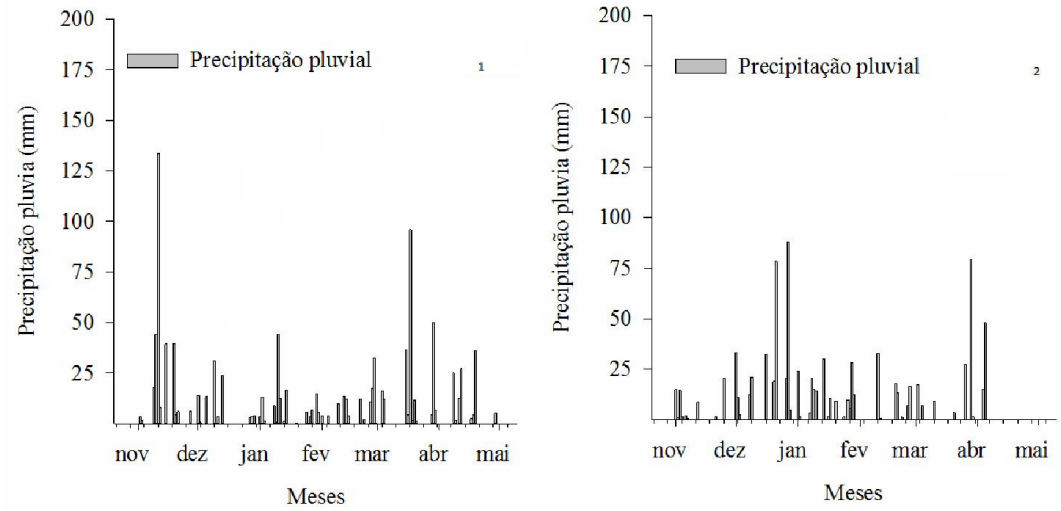

Figura 1. Distribuição da precipitação pluvial nas safras 2013/14 (1) e 2014/15 (2). Santa Maria, RS. 2015.

Conclusão

Nas áreas de arroz irrigado que apresentam uma camada compactada próxima à superfície do solo, os sistemas com escarificação do solo e haste sulcadora na semeadura proporcionam maior rendimento de grãos de soja em relação ao disco duplo. O uso da irrigação suplementar por faixas resulta em acréscimo de rendimentos de grãos.

Agradecimentos

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado do primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de produtividade em pesquisa para o segundo autor e pela bolsa de doutorado sanduíche ao primeiro autor. À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela bolsa de Iniciação Científica concedida ao terceiro autor.

Referências

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 581-588, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P.J. FILHOS, R.V. DA SILVA, C.B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, 1994.

EMBRAPA - **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014. / XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul** – Passo Fundo, 2013. 142p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

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

FERNANDES, E.J.; TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v.8, n.2, p.132-141, 2003.

KING, C.A.et al.. A possible relationship between shoot N concentration and the sensitivity of N_2 fixation to drought in soybean. **Crop Science**, v.54, n.1, p.746-756, 2014.

LANZA, L.M.N.; ROSSI, S.C.; SODEK, L. Adubação nitrogenada beneficia soja alagada. **Bragantia**, v.72, n.1, p.2-9, 2013.

RUVIARO, C. et al. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na região do vale do Jaguari-RS. **Perspectiva,** v.35, n.131, p. 79-90, 2011

SICZEK, A., LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**, v.114, p.50–56, 2011.

THOMAS, A.L. et al. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha,** v.6, n.1, p.107-112, 2000.

VIEIRA NETO, S. A. et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência Solo**. 2008, vol.32, n.2, pp. 861-870.

SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO E IRRIGAÇÃO PARA O CULTIVO DA SOJA EM ÁREAS DE ARROZ

Guilherme Vestena Cassol[1]; Enio Marchesan[2]; Adroaldo Dias Robaina[3]; Vinicius Severo Trivisiol[4]; João Pedro Tessele[4]; Bruno Behenck Aramburu[4]; José Fillipin[4];

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), rotação de culturas, uso de água.

INTRODUÇÃO

A rotação do arroz irrigado com soja é uma prática de manejo importante para viabilizar a exploração sustentável de áreas sob cultivo intensivo de arroz no Rio Grande do Sul. No entanto, as condições de relevo relativamente plano, drenagem deficiente, baixa capacidade de armazenamento de água e presença de uma camada compactada próxima à superfície do solo, podem predispor à ocorrência de estresses e reduzir a fixação biológica de nitrogênio, limitando o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja em áreas de arroz (GOMES et al. 2006; MARCHESAN, 2013).

Desse modo, a confecção de camalhões pode ser uma prática importante para, primeiramente, aumentar a eficiência do processo de drenagem da área e garantir estabelecimento adequado da cultura no sistema de rotação. Por outro lado, durante períodos de baixa disponibilidade de água no solo, o aproveitamento dos sulcos dos camalhões para a irrigação pode ser, também, uma alternativa viável para assegurar a expressão do potencial produtivo da soja em áreas de arroz. Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivos: a) avaliar a resposta produtiva da soja à irrigação e b) determinar o uso de água em diferentes sistemas de irrigação por superfície para o cultivo da soja em áreas de arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra 2014/15, em área de arroz sistematizada, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Para a realização do experimento, utilizou-se um esquema fatorial com delineamento experimental de blocos ao acaso e quatro repetições. Os níveis para o fator A foram compostos pelos sistemas de implantação: A1= com camalhão; A2= sem camalhão; e os níveis do fator D compostos por: D1= com irrigação; D2= sem irrigação. O sistema de implantação com camalhão caracterizou-se pela confecção de camalhões no momento da semeadura da soja com auxílio da semeadora camalhoneira KF Hyper Plus 6/5. Já para o sistema sem camalhão, utilizou-se a mesma semeadora em condições similares de operação, porém sem o dispositivo para a confecção dos mesmos. As unidades experimentais possuíram dimensões de 75 m de comprimento e 3 m de largura, totalizando 225 m^2.

O preparo de solo da área experimental foi realizado de maneira convencional com o auxílio de grade de discos e posterior nivelamento do solo. A semeadura ocorreu em 15 de novembro de 2014 com densidade de 15 sementes m^{-1}, visando uma população de 280.000 plantas ha^{-1}. Utilizou-se a cultivar de soja Nidera 6209 RR, de tipo de crescimento determinado e grupo de maturação 6.3. A adubação de base consistiu de 325 kg da fórmula 04-17-27 no momento da semeadura da cultura. Os demais tratos culturais foram efetuados

[1] Engenheiro Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM. Avenida Roraima, nº 1000, Cidade Universitária, Camobi, 97105900, Santa Maria, RS, Brasil, guilhermevcassol@hotmail.com
[2] Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria, RS.
[3] Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Fitotecnia, UFSM, Santa Maria, RS.
[4] Acadêmico do curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS.

seguindo-se as indicações técnicas da pesquisa para cultivo da soja na região Sul do Brasil (EMBRAPA, 2014).

A necessidade de irrigação foi determinada através do monitoramento da umidade do solo com auxílio de sensores de modelo CS-616 acoplados ao equipamento data logger CR1000 distribuídos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Para critério de irrigação, adotou-se como referência, o limite médio de umidade do solo das camadas monitoradas, inferior a 60% da capacidade de campo. A distribuição de água nas parcelas irrigadas foi efetuada por intermédio de mangueira plástica de 54 polegadas de diâmetro equipada com um conjunto de comportas ajustáveis. O volume de água utilizado em cada parcela foi quantificado pela utilização de um hidrômetro de 100 polegadas de diâmetro acoplado na entrada da mangueira plástica.

Foram avaliados o número total de nódulos por planta, massa seca e viabilidade de nódulos em R5, o rendimento de grãos de soja e determinada a eficiência de uso da água para cada sistema de irrigação. Para a avaliação de nódulos, coletou-se um monólito de solo de 40 x 20 cm de largura e profundidade, contendo raízes de cinco plantas de soja. Após a coleta, as raízes foram lavadas em água corrente, e levadas para laboratório onde se avaliou o número de nódulos ≥ 2 mm. Para a viabilidade dos nódulos, os mesmos foram seccionados ao meio com estilete considerando-se não viável aquele nódulo sem coloração rósea (VIEIRA NETO et al., 2008). Para obtenção da massa seca dos nódulos, após a avaliação da viabilidade os mesmos foram secos em estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 65 °C até peso constante, e posteriormente obtendo-se a massa seca em balança de precisão. A produtividade de grãos foi determinada em área útil de 15 m^2 através de duas amostragens por parcela.

Os dados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância (independência, normalidade e homocedasticidade dos erros) e então, submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). O teste "t" ($p \leq 0,05$) foi utilizado para comparação das médias entre os tratamentos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve distribuição regular das precipitações para quase totalidade da estação de cultivo da soja na safra 2014/15 (Figura 1). De modo geral, as precipitações com maiores volumes ocorreram durante a emergência e o desenvolvimento vegetativo da cultura, não havendo necessidade de irrigação nesses períodos. No entanto, com base no monitoramento da umidade do solo, houve necessidade de irrigação da soja durante os estádios R2 (florescimento pleno) no dia 25/01/15 e R3-R4 (formação de legumes) no dia 05/02/15. Nestas datas, a umidade média do solo na camada de 0-20cm encontrava-se em 52% e 48% da capacidade de campo, respectivamente.

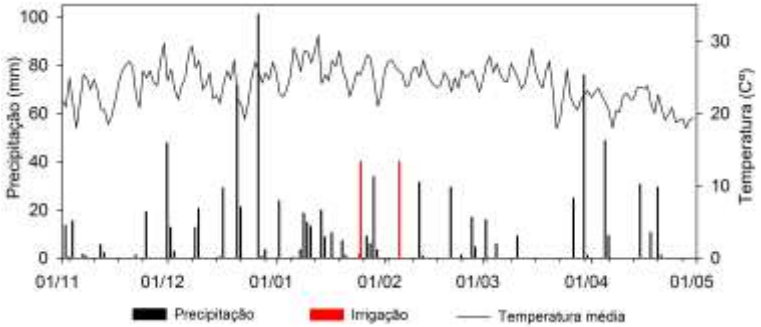

Figura 1. Precipitação, eventos de irrigação e temperatura média do ar durante o período de cultivo da soja em área de arroz. Santa Maria, RS, 2015.

Para ambos os eventos de irrigação, o volume de água utilizado foi menor no sistema com camalhão em comparação ao sistema sem camalhão (Tabela 1). Dessa forma, o sistema com camalhão proporcionou economia média de 14% no total de água aplicado via irrigação durante o ciclo da cultura. Além disso, em números absolutos, o sistema com camalhão proporcionou também maior eficiência de uso da água de irrigação em comparação ao sistema sem camalhão.

Tabela 1. Uso de água para cada evento de irrigação, total de água aplicado durante o ciclo da cultura (m^3 ha^{-1}) e eficiência do uso da água de irrigação (kg m^{-3}) para os sistemas com e sem camalhão utilizados no cultivo de soja em área de arroz irrigado. Santa Maria, RS, 2015.

Sistemas de Implantação	Uso de água via irrigação			
	25/01/15	05/02/15	Total aplicado	EUAI
	(m^3 ha^{-1})			(kg m^{-3})
Com Camalhão	462*	471*	933*	$0,25^{ns}$
Sem Camalhão	520	564	1084	0,20
Média	491	517	1008	0,22
CV (%)	3,98	7,19	4,67	17,62

* Médias na coluna diferem estatisticamente pelo teste "t" à 5% de probabilidade de erro.
^{ns} Não significativo na coluna à 5% de probabilidade de erro.

De acordo com a análise de variância, não houve diferença significativa no número total de nódulos por planta, percentagem de nódulos viáveis e na massa seca de nódulos entre os sistemas com e sem camalhão (Tabela 2). No entanto, a irrigação proporcionou aumento no número de nódulos por planta de soja durante o período de enchimento de grãos (R5) para ambos os sistemas testados. Resultados semelhantes relacionando o aumento da nodulação em função da irrigação têm sido reportados na literatura (HEATHERLY & SPURLOCK, 2000; WINGEYER et al., 2014).

Tabela 2. Número total de nódulos por planta, viabilidade e massa seca de nódulos de plantas de soja em R5 nos sistemas com e sem camalhão em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2015.

Sistemas de Implantação	Nódulos em R5		
	Nódulos $planta^{-1}$ (nº)	Viabilidade (%)	Massa Seca (g $planta^{-1}$)
Com Camalhão	114^{ns}	85^{ns}	$0,94^{ns}$
Sem Camalhão	105	86	0,88
Irrigação			
Com Irrigação	118*	84^{ns}	$1,01^{ns}$
Sem Irrigação	101	85	0,84
CV (%)	11,2	8,8	25,2

* Médias na coluna diferem estatisticamente pelo teste "t" à 5% de probabilidade de erro.
^{ns} Não significativo na coluna à 5% de probabilidade de erro.

Houve diferença no rendimento de grãos para os sistemas avaliados no trabalho e para a resposta da cultura à irrigação (Tabela 3). Em relação aos sistemas, a utilização de camalhões proporcionou incremento de aproximadamente 10% no rendimento de grãos quando comparado ao sistema sem a utilização de camalhões. Além disso, as irrigações durante o ciclo da cultura elevaram em média 5% o rendimento de grãos de soja de ambos os sistemas em comparação a áreas sem irrigação.

Dessa forma, os resultados evidenciam a importância da drenagem durante a fase inicial da cultura e da irrigação, em períodos de deficiência hídrica, para a manutenção da fixação biológica de nitrogênio e, consequentemente, expressão do potencial produtivo da

soja em áreas de arroz.

Tabela 3. Rendimento de grãos de soja (kg ha^{-1}) nos sistemas com e sem camalhão em função da irrigação. Santa Maria, RS, 2015.

Sistemas de Implantação	Rendimento de Grãos (kg ha^{-1})		
	Com Irrigação	Sem Irrigação	Média Sistemas
Com Camalhão	4618	4382	4500*
Sem Camalhão	4057	3886	3971
Média Irrigação	4337*	4134	
CV (%)		4,5	

* Médias na coluna diferem estatisticamente pelo teste "t" à 5% de probabilidade de erro.

CONCLUSÃO

A irrigação aumenta o número de nódulos por planta e o rendimento de grãos de soja em áreas de arroz irrigado.

O sistema com camalhão proporciona maior eficiência de uso da água e rendimento de grãos de soja quando comparado ao sistema sem camalhão.

Estudos posteriores devem ser realizados em diferentes regiões do estado e safras agrícolas para a consolidação desses resultados.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor e de fomento à pesquisa através do projeto Universal. Á Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realização do trabalho. Além disso, os autores agradecem a empresa Delta Plastics of the South LLC. pela concessão dos materiais de irrigação utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES, A. S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p. (Documentos, 169).

HEATHERLY, L. G.; SPURLOCK, S. R. Furrow and flood irrigation of early-planted, early maturing soybean rotated with rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.3, p.785-791, June 2000.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013. **Anais...** Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. Resumo 636. 2 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. C. B. de.; ROSA, A. P. S. A. da. (Ed.). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, safras 2013/14 e 2014/15.** Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2014.

VIEIRA NETO, S. A. et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.32, n.2, p. 861-870, 2008.

WINGEYER, A. B. et al. Growth and yield of irrigated and rainfed soybean with late nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, n. 2, p. 567-576, March 2014.