

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Lucas Lopes Coelho

**MANEJO DE AZEVÉM E DE MECANISMOS
SULCADORES DA SEMEADORA NO DESEMPENHO
DA SOJA EM TERRAS BAIXAS**

**Santa Maria, RS
2017**

Lucas Lopes Coelho

**MANEJO DE AZEVÉM E DE MECANISMOS SULCADORES DA SEMEADORA
NO DESEMPENHO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Coelho, Lucas Lopes
Manejo de azevém e de mecanismos sulcadores da
semeadora no desempenho da soja em terras baixas / Lucas
Lopes Coelho.- 2017.
78 p. ; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan
Coorientador: Sidnei José Lopes
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2017

1. Lolium multiflorum 2. Haste sulcadora 3.
Plantabilidade 4. Planossolo I. Marchesan, Enio II.
Lopes, Sidnei José III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Lucas Lopes Coelho. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

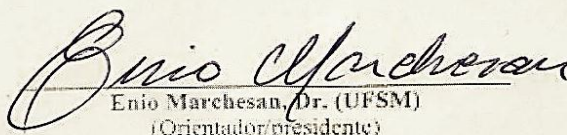
E-mail: lucas_l_c@hotmail.com

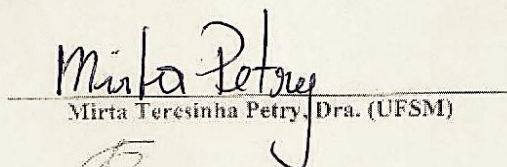
Lucas Lopes Coelho

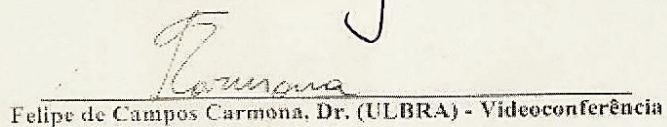
MANEJO DE AZEVÉM E DE MECANISMOS SULCADORES DA SEMEADORA
NO DESEMPENHO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aprovado em 21 julho de 2017:


Enio Marchesan, Dr. (UFSM)
(Orientador/presidente)


Mirta Teresinha Petry, Dra. (UFSM)


Felipe de Campos Carmona, Dr. (ULBRA) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha família, em especial ao meu pai Clovis Cogo Coelho e
minha mãe Elisabeth Lopes Coelho, por todo o apoio, incentivo e carinho
recebidos durante o percurso dessa jornada.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por todas as oportunidades recebidas.

Aos meus pais, Clovis Cogo Coelho e Elisabeth Lopes Coelho, pelo exemplo de honestidade e perseverança, bem como, pelo empenho em possibilitar-me a busca de meus sonhos, sacrificando muitas vezes para isso os seus próprios. Por isso, agradeço-lhes de coração!

À minha namorada Dariane Trivisiol Silva, pelo companheirismo, amor, amizade, apoio e compreensão nos momentos mais difíceis dessa etapa.

Ao professor Enio Marchesan, pelo exemplo de dedicação profissional, pelos ensinamentos, orientação e, principalmente, amizade construída ao longo desses sete anos de convívio.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino de qualidade.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas de pós-graduação, Maurício Limberger de Oliveira, Marcos Belinazzo Tomazetti, Bruno Behenck Aramburu, Silvana Spaniol Fin, Guilherme Cassol e João Ângelo pela convivência, troca de experiências e auxílio na condução dos trabalhos.

Aos estagiários do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPAI), Roberto Paulo Schütz, Augusto D. Serafin, Camille Flores, Isabel Werle, Francisco Tonetto, Gabriel Donato, Ricardo De David, Vinicius Severo Trivisiol, Anelise Lencina, Marília Ferreira, Alisson Fleck, Marcelo Lima de Oliveira, Guilherme F. Pozzobon, João Alberto P. Farenzena, Rafael Milanesi e Alex Freitas meu muito obrigado, sem a ajuda de vocês com certeza não teríamos êxito na conclusão dessa etapa.

Aos ex-colegas de GPAI, Gustavo Mack Teló, Rafael Bruck Ferreira, Gerson M.S. Sartori, Lillian Matias de Oliveira, Robson Giacomeli, Damaris S. Santos Hansel, Elisa Gollo e Eduardo Figuera pelos ensinamentos e pela amizade construída nesses anos de convívio.

Ao Laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes (LABRUMEN), em especial aos funcionários Clovis, Vitor Zizemer e Gisele Lutz, pela ajuda.

À comissão examinadora, Enio Marchesan, Mirta Teresinha Petry e Felipe de Campos Carmona, pelas contribuições no trabalho.

Aos funcionários do departamento de Fitotecnia, João Colpo, Reges e Ilto, pela presteza.

A todos o meu sincero **MUITO OBRIGADO!**

O destino não é uma questão de sorte, é uma questão de escolha. Não é algo para se esperar, é algo para se conquistar!

(William Jennings Bryan)

RESUMO

MANEJO DE AZEVÉM E DE MECANISMOS SULCADORES NA IMPLANTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

AUTOR: Lucas Lopes Coelho
ORIENTADOR: Enio Marchesan

A soja é uma importante alternativa no sistema de rotação com o arroz irrigado. Entretanto, características relacionadas ao solo, destacando-se a compactação e a dificuldade de drenagem, são alguns dos obstáculos a serem vencidos para que se possa produzir soja de forma rentável nessas áreas. Aliado a isso, surge também a necessidade de se rever o manejo da entressafra. A utilização de plantas de cobertura nessas áreas surge não somente como necessidade do ponto de vista de conservação do solo, mas também de renda do produtor. Porém, manejos dessas plantas devem ser buscados e melhorados, com o propósito de não prejudicar a semeadura e o desenvolvimento da cultura em sucessão. Nesse contexto, foram desenvolvidos três trabalhos em área de terras baixas sistematizada, com solo típico de áreas de várzea (Planossolo). Os estudos tiveram como objetivo: quantificar o efeito de épocas de dessecação e fenação do azevém sobre o estabelecimento inicial e desenvolvimento da soja em sucessão (Capítulo I); determinar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre a qualidade de distribuição de sementes e estabelecimento inicial de plantas (Capítulo II); bem como sobre as características físicas do solo, crescimento de plantas e produtividade de soja em área de terras baixas com a presença de camada compactada (Capítulo III). Os experimentos foram conduzidos em campo, na área de várzea da Universidade federal de Santa Maria, durante as safras agrícolas 2015/16 e 2016/17, sendo utilizado o delineamento de blocos ao acaso. No experimento I, os tratamentos foram constituídos de dois manejos do azevém (fenação e dessecação), cinco épocas de dessecação e fenação e um pousio (sem azevém na entressafra). Para os experimentos II e III, foram utilizados mecanismos sulcadores da semeadora, sendo eles: Haste sulcadora a 0,23 m de profundidade (HS a 0,23 m); Haste sulcadora a 0,13 m (HS a 0,13 m); Disco duplo a 0,07 m e Microcamalhão+HS a 0,12 m (Micro+HS a 0,12 m). Observou-se que manejos antecipados (82, 73, 70 e 61 dias antes da semeadura da soja) proporcionam melhor qualidade do feno produzido, entretanto, a retirada de palhada da área resultou em redução no teor de potássio no solo. Além disso, independentemente da época de fenação e dessecação, a utilização da planta de cobertura aumentou a umidade do solo no momento da semeadura, reduzindo assim, o estande inicial de plantas e, conseqüentemente, a produtividade de grãos da soja em relação ao pousio (Capítulo I). Para os tratamentos referentes aos mecanismos sulcadores, pode-se observar que o uso da haste sulcadora na deposição do fertilizante acarretou em maior desuniformidade na deposição de sementes em profundidade (independentemente da profundidade e da utilização de aivecas), porém, não afetou a distribuição longitudinal e o estabelecimento inicial de plantas (Capítulo II). No solo, a HS a 0,23 m proporcionou o aumento da macroporosidade e a redução da resistência à penetração até a profundidade de 0,2 m. O referido tratamento, juntamente com o Micro+HS a 0,12 m, possibilitaram maior desenvolvimento do sistema radicular, da parte aérea e nodulação das plantas de soja, refletindo-se em aumento na produtividade de grãos quando comparado ao disco duplo e a HS a 0,13 m (Capítulo III).

Palavras-chave: *Lolium multiflorum*. Haste sulcadora. Plantabilidade. Planossolo.

ABSTRACT

RYEGRASS AND SEEDING FURROW OPENING MECHANISMS MANAGEMENT ON THE SOYBEAN DEVELOPMENT IN LOWLAND AREAS

AUTHOR: Lucas Lopes Coelho

ADVISOR: Enio Marchesan

Soybean is an important alternative for the use of rotation system with irrigated rice. However, there're some characteristics related to the soil, emphasizing the compaction and the difficulty of drainage, which are some of the obstacles to overcome to get a soybean production in a profitable way in these areas. In addition to this, there is also a need to review the management of the off-season. The use of cover crops in these areas appears not only as a necessity from the point of view of soil conservation, but also from income for the farmer. Nevertheless, plant managements should be provided for the purpose of not harming seeding and the development of the crop in succession. In this context, three studies were carried out in a systemized area of irrigated rice, with a typical soil of lowland areas (Albaqualf). The objectives of the studies are to: quantify the effect of periods of desiccation and haymaking of ryegrass on the initial establishment and development of soybean in succession (Chapter I); To determine the effect of seeding furrow opening mechanisms on the quality of seed distribution and initial establishment of plants (Chapter II); as well as on soil physical characteristics, plant growth and soybean yield in lowland areas with the presence of compacted layer (Chapter III). The experiments were conducted in the field in the lowland area of the Federal University of Santa Maria during the 2015/16 and 2016/17 growing season, and the experimental design was randomized block. In the experiment I, the treatments were composed by two ryegrass managements (hay and desiccation), five periods of desiccation and haymaking and one fallow (without ryegrass in the off-season). For experiments II and III, seeding furrow opening mechanisms were used, being: Shank at 0.23 m depth (HS at 0.23 m); Shank at 0.13 depth m (HS at 0.13 m); Double disk at 0.07 m depth and Raised-bed+Shank 0.12 m (Raised-bed + HS at 0,12 m). It was observed that early management (82, 73, 70 and 61 days before soybean seeding) provided better quality of the hay produced, however, a straw removal of the area resulted in reduction of soil potassium content. In addition, regardless of the time of haymaking and desiccation, the use of the cover plant increased the soil moisture at the time of sowing, thus reducing the initial plant stand and consequently soybean yield in relation to fallow (Chapter I). For the treatments with furrow opening mechanisms, it can be observed that the use of the shank in the area of fertilizer deposition, regardless of the depth and the use of moldboard, resulted in a great disparity in the deposition of seeds in depth. However, it didn't affect the longitudinal distribution and initial establishment of plants (Chapter II). In the soil, HS at 0.23 m depth increased macroporosity and reduction of resistance to penetration to a depth of 0.2 m. This treatment cited, in addition to the Raised-bed + HS at 0.12 m depth allowed greater development of the root system, shoot growth and nodulation of the soybean plants, reflecting in an increase of the grain yield when compared to the systems of double disk and HS at 0.13 m depth (Chapter III).

Keywords: *Lolium multiflorum*. Shank. Plantability. Albaqualf soil.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Massa seca no momento do manejo (A e D), massa seca dos rebrotes (B e E) e massa seca remanescente (C e F) do azevém em função da época de fenação e dessecação das plantas, visando a semeadura da soja em área de terras baixas sistematizada. Safra 2015/16 (A, B e C) e safra 2016/17 (D, E e F). Santa Maria, RS. 2017.....32
- Figura 2 - Proteína bruta (A), digestibilidade da matéria orgânica (B), fibra em detergente neutro (C), fibra em detergente ácido (D) e relação folha-colmo (E) das plantas de azevém em função da época de corte para produção de feno em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.....33
- Figura 3 - Teor de potássio (A) e fósforo (B) no solo um dia antes da semeadura da soja na safra 2016/17, em função da época de fenação e dessecação do azevém em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017. Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), NS-Não significativo34
- Figura 4 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2015/16 (A) e 2016/17 (B) na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2017.....37

CAPÍTULO II

- Figura 1- Distribuição de sementes de soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada: Disco duplo a 0,07 m de profundidade (A) e Haste sulcadora a 0,23 m (B). Santa Maria, RS. 2017.....47
- Figura 2 - Precipitação pluvial diária na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, durante a fase de semeadura e estabelecimento inicial do experimento na safra agrícola 2015/16. Santa Maria, RS. 2017.....48

CAPÍTULO III

- Figura 1 - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo na linha de semeadura da soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Safra 2015/16. Santa Maria, RS. 2017. * Linha tracejada determina o limite crítico para as variáveis densidade (REICHERT et al., 2009) e macroporosidade do solo (KAISER et al., 2009).....64

- Figura 2 - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo na linha de semeadura da soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Safra 2016/17. Santa Maria, RS. 2017. * Linha tracejada determina o limite crítico para as variáveis densidade (REICHERT et al., 2009) e macroporosidade do solo (KAISER et al., 2009).....65
- Figura 3 - Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica em semeadura com haste sulcadora a 0,23 m de profundidade (A e E), haste sulcadora a 0,13 m (B e F), disco duplo a 0,07 m (C e G) e microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m (D e H) em área de terras baixas compactada. Umidade volumétrica na camada de 0,3 m de 0,29 e 0,24 m³m⁻³ para as safras agrícolas 2015/16 (A, B, C e D) e 2016/17 (E, F, G e H) respectivamente. Santa Maria, RS. 2017.....66
- Figura 4 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2015/16 (A) e 2016/17 (B) na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2017.....67
- Figura 5 - Distribuição do sistema radicular da soja em função do mecanismo sulcador da semeadora: Haste sulcadora a 0,23 m de profundidade (A); Haste sulcadora a 0,13 m (B); Disco duplo a 0,07 m (C) e Microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m (D) na safra agrícola 2016/17. Malha de 0,05x0,05 m. Santa Maria, RS. 2017.....71

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 - Umidade volumétrica do solo nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade um dia antes da semeadura da soja em função da época de fenação e dessecação do azevém em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.....35
- Tabela 2 - População inicial de plantas (PIP), estatura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de nódulos (MSN), índice SPAD e produtividade de grãos (Prod.) em função da época de fenação e dessecação do azevém visando a semeadura da soja em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.36

CAPÍTULO II

- Tabela 1 - Distribuição longitudinal de sementes (coeficiente de variação (CV), sementes duplas, aceitáveis e falhas), distribuição vertical (CV, profundidade máxima e mínima), índice de velocidade de emergência (IVE) e população inicial de plantas (PIP) de soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.....46

CAPÍTULO III

- Tabela 1 - População inicial de plantas (PIP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) nos estádios fenológicos V7 e R5.1, em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.....68
- Tabela 2 - Comprimento (C), área superficial (AS), volume relativo (VR) e diâmetro médio (DM) das raízes de soja no estágio fenológico R5.1, em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.....69
- Tabela 3 - Índice de área foliar (IAF) e massa seca dos nódulos (MSN) nos estádios fenológicos V7 e R5.1, número de vagens por planta (NVP) e produtividade de grãos da soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.....70

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1** - Demonstração do método utilizado para determinar a resistência à penetração do solo, conforme citado no material e métodos do capítulo III.....75
- Apêndice 2** - Drenagem da área após uma precipitação de 58,6 mm nos sistemas com Disco duplo a 0,07 m (A), HS a 0,23 m (B), HS a 0,13 m (C) e Micro+HS a 0,12 m (D).....76
- Apêndice 3** - Detalhe da profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores: HS a 0,23 m (A), HS a 0,13 m (B), Disco duplo a 0,07 m (C) e Micro+HS a 0,12 m (D).....77

LISTA DE ABREVIATURAS

Al - alumínio
AS - área superficial
BMX - Brasmax
C - comprimento
Ca - cálcio
CTC - capacidade de troca de cátions
DASS - dias antes da semeadura da soja
DAS - dias antes da semeadura
DD - disco duplo
DM - diâmetro médio
Ds - densidade do solo
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDA - fibra em detergente ácido
FDN - fibra em detergente neutro
HS - haste sulcadora
IAF - índice de área foliar
IVE - índice de velocidade de emergência
K - potássio
LABRUMEN - Laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes
LAS - Laboratório de Análise de Solos
MA - macroporosidade
MF - Massey Ferguson
Mg - magnésio
MI - microporosidade
MICRO - microcamalhão
MO - matéria orgânica
MPa - megapascal
MSN - massa seca de nódulos
MSPA - massa seca da parte aérea
NS - Nidera
NT - nitrogênio total
NVP - número de vagens por planta
P – fósforo
PB – proteína bruta
PIP - população inicial de plantas
PRNT - poder relativo de neutralização total
Prod. - produtividade
PT - porosidade total
SPAD - Soil Plant Analysis Development
SYN - Syngenta
UFES - Universidade Federal de Santa Maria
VR - volume de raiz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 CAPÍTULO I (Artigo Científico)	18
MANEJO DE AZEVÉM EM TERRAS BAIXAS SOBRE O ESTABELECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE SOJA EM SUCESSÃO	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
3 CAPÍTULO II (Nota Científica)	39
MECANISMOS DA SEMEADORA E A PLANTABILIDADE DE SOJA EM TERRAS BAIXAS	39
RESUMO	39
ABSTRACT	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
4 CAPÍTULO III (Artigo Científico)	50
MECANISMOS SULCADORES DA SEMEADORA E A IMPLANTAÇÃO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS	50
RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO	51
MATERIAL E MÉTODOS	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6 CONCLUSÕES.....	75
7 APÊNDICES	76

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas de maior importância mundial, sendo o Brasil o maior exportador e segundo maior produtor do grão, com produção de 113 milhões de toneladas na safra 2016/17 (CONAB, 2017). Em âmbito nacional, o estado do Rio Grande do Sul (RS) se destaca como um dos maiores produtores, ficando atrás apenas do Mato Grosso e do Paraná, com uma produção de 18,2 milhões de toneladas. No estado do RS, o cultivo da leguminosa ocupa aproximadamente 5,6 milhões de hectares, as quais historicamente se concentraram nas chamadas terras altas ou de coxilha, principalmente no Planalto gaúcho. No entanto, devido aos preços alcançados pela cultura nas últimas safras, associado à possibilidade de utilização de herbicidas de ação total como o Glifosato, a soja tem despertado o interesse de produtores de outras culturas e ambientes produtivos.

O RS possui cerca de três milhões de hectares com a infraestrutura necessária para o cultivo do arroz irrigado. Destas, anualmente, cerca de 1,1 milhões são destinadas para o cultivo do cereal, permanecendo o restante das áreas em pousio ou subutilizadas com a criação de pecuária de corte extensiva. Diante disso, a soja ingressou nesse ambiente como uma ferramenta para reincorporar ao sistema produtivo do arroz irrigado áreas com elevada infestação de plantas daninhas, com destaque para o arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) resistente a herbicidas. Contudo, o aprendizado dos técnicos e produtores, associado à adequação das áreas para receber a soja, possibilitou que na safra 2015/16, a cultura fosse semeada em sistema de rotação com o arroz irrigado em mais de 270 mil hectares no estado.

No entanto, diversos são os desafios para o cultivo rentável de soja nessas áreas. Dentre as principais limitações podem-se destacar as características intrínsecas do solo, os quais apresentam drenagem deficiente, presença de uma camada compactada próxima à superfície, baixo teor de matéria orgânica e reduzida disponibilidade de nutrientes quando não submetidos ao alagamento. Assim, manejos que visem mitigar tais adversidades são fundamentais para viabilizar um sistema de rotação e/ou sucessão de culturas técnica e economicamente viável nesse ambiente.

A escolha da área e a adequação da mesma através do nivelamento superficial e da drenagem de superfície surgem como primeiros aspectos técnicos a serem observados. Na sequência, manejos do solo que possibilitem o rompimento de parte da camada compactada, podem auxiliar as plantas minimizando os estresses relacionados tanto ao déficit como ao excesso hídrico. Nesse sentido, a adoção de mecanismos associados à semeadora surge como alternativa à preparos mais invasivos do solo, a exemplo da aração e da escarificação.

Na literatura, a utilização da haste sulcadora tem sido reportada como eficiente na melhoria do ambiente radicular da soja em áreas compactadas, tanto de terras altas como baixas. Porém, dúvidas ainda são frequentes quanto à sua utilização, podendo-se destacar o efeito da haste sulcadora sobre a qualidade de deposição de sementes (plantabilidade), bem como na profundidade de atuação necessária para proporcionar um adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Outro importante ponto a destacar refere-se à possibilidade de associar a utilização da haste sulcadora à mecanismos para confecção de microcamalhões, os quais maximizam o processo de drenagem da área em períodos chuvosos, ao mesmo tempo em que possibilitam a irrigação em períodos de deficiência hídrica.

Na sequência da evolução do cultivo da soja em rotação com o arroz irrigado, surge também a necessidade de se buscar manejos alternativos do solo durante o período de pós colheita da safra de verão. A inserção de culturas para produção de palhada passa a figurar como opção ao manejo tradicional, no qual ainda predomina a intensa mobilização do solo. O azevém vem despontando como uma boa alternativa para o período de entressafra, principalmente em função de sua maior tolerância ao excesso hídrico e ao baixo custo de implantação. A quantidade de palha remanescente, por outro lado, pode afetar o estabelecimento e desenvolvimento inicial da cultura em sucessão. Dessa maneira, manejos que possibilitem a redução dos resíduos vegetais na superfície do solo são determinantes no sucesso desse sistema de sucessão de culturas no ambiente de terras baixas.

Tendo em vista o exposto acima, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de épocas de dessecação e fenação do azevém na entressafra sobre a qualidade do feno produzido e o acúmulo de fósforo e potássio no solo, bem como, quantificar os efeitos da massa seca remanescente sobre o estabelecimento e desenvolvimento da soja em sucessão (Capítulo I); avaliar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre a qualidade de distribuição de sementes e estabelecimento inicial de plantas de soja em um Planossolo compactado (Capítulo II); bem como, sobre as características físicas do solo, crescimento de plantas e produtividade de soja em áreas de terras baixas, com presença de camada compactada próxima à superfície (Capítulo III).

2 CAPÍTULO I (Artigo Científico)

MANEJO DE AZEVÉM EM TERRAS BAIXAS SOBRE O ESTABELECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE SOJA EM SUCESSÃO

RYEGRASS MANAGEMENT IN LOWLAND AREAS ON THE ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT OF SOYBEAN IN SUCCESSION

RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar o efeito de épocas de dessecação e fenação do azevém na entressafra sobre a qualidade do feno produzido e o acúmulo de fósforo e potássio no solo, bem como, quantificar os efeitos da massa seca remanescente sobre o estabelecimento e desenvolvimento da soja em área de terras baixas. Para tanto, foi conduzido um experimento em campo durante as safras agrícolas 2015/16 e 2016/17, em área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Foram testados dois manejos do azevém (feno e dessecação), cinco épocas de fenação e dessecação e um pousio (sem azevém na entressafra). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Na entressafra, foram mensuradas as variáveis: massa seca da parte aérea do azevém, parâmetros de qualidade do feno e teor de umidade e dos nutrientes fósforo e potássio no solo. Na soja, determinou-se a população inicial de plantas, a massa seca da parte aérea e de nódulos, estatura, índice SPAD e produtividade de grãos. O cultivo de azevém em área de terras baixas é uma alternativa viável, sendo a fenação uma possibilidade de redução da massa seca remanescente, e ao mesmo tempo uma alternativa de renda. Entretanto, há redução nos teores de potássio no solo em virtude da retirada das plantas de azevém da área. Além disso, a utilização do azevém aumenta a retenção de água no solo, sendo o teor diretamente correlacionado à quantidade de massa seca remanescente sobre a superfície. Na soja, em ano de elevada precipitação, independentemente da época de fenação ou dessecação do azevém, houve redução na população inicial de plantas e conseqüentemente na produtividade de grãos, quando comparado ao sistema em pousio.

Palavras-chave: *Lolium multiflorum*. Entressafra. Feno. Arroz irrigado.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the effect of desiccation and haymaking periods in the off-season, on the quality of hay produced and the accumulation of phosphorus and potassium in the soil. As well as to quantify the effects of remaining dry mass on the establishment and development of soybean in lowland area. For that, an experiment was conducted in the field in the 2015/16 and 2016/17 growing season in the lowland area of the Federal University of Santa Maria. Two treatments of ryegrass management (hay and desiccation), five periods of haymaking and desiccation and one fallow (without ryegrass in the off-season) were tested. The experimental design was randomized block with four replications. In the off-season, the following variables were measured: ryegrass dry shoot mass, hay quality parameters, moisture, phosphorus and potassium content in the soil. In the soybean, the initial population of plants, dry shoot mass, nodules dry mass, height, SPAD index and grain yield were determined. The cultivation of ryegrass in lowland areas is a viable alternative, being the haymaking a possibility of reduction of the remaining dry mass, and at the same time an income alternative. However, there is a reduction in potassium levels in the soil due to the removal of the plants from the area. Furthermore, the use of ryegrass increases the retention of moisture in the soil, which is directly correlated with the amount of remaining dry mass. In soybean, when there is high precipitation on the growing season, regardless of the period of haymaking or desiccation, ryegrass reduces the initial population of plants and, consequently, the grain yield when compared to the fallow system.

Key words: *Lolium multiflorum*. Off-season. Hay. Irrigated rice.

INTRODUÇÃO

Por muitos anos o modelo de utilização das áreas de terras baixas no sul do Brasil foi baseado no monocultivo do arroz irrigado, associado à criação extensiva de gado de corte durante o outono-inverno. No entanto, a elevada pressão de plantas daninhas resistentes estabeleceu a necessidade de inserção de outras culturas nesse ambiente produtivo. Contudo, inúmeros são os fatores restritivos à utilização de um sistema diversificado de rotação e/ou sucessão de culturas nessas áreas. Podem-se destacar como principais fatores limitantes as características físicas e químicas desses solos, os quais apresentam elevada compactação (GIACOMELI et al., 2016), drenagem de perfil e de superfície deficiente (LIMA et al., 2009), baixo teor de matéria orgânica e elevada acidez (FAGERIA et al., 2011).

A soja foi uma das primeiras culturas a ser introduzida no sistema de rotação com o arroz irrigado. Inicialmente, a cultura ingressou nessas áreas visando mitigar problemas ocasionados pela infestação das lavouras com plantas daninhas de difícil controle, com ênfase para o arroz vermelho resistente. Em um segundo momento, o avanço da tecnologia na produção da leguminosa nessas áreas possibilitou que a soja se consolidasse como alternativa não somente de manejo, mas também de renda nesse ambiente produtivo (MARCHESAN, 2013).

Da mesma forma, a inserção desse novo cultivo trouxe consigo a necessidade de se rever práticas de manejo comumente adotadas durante a entressafra. Historicamente, esse período vem sendo destinado à reorganização espacial das áreas por meio do preparo convencional do solo, mantendo-se as mesmas, posteriormente, apenas com vegetação espontânea até o próximo cultivo. Do ponto de vista de conservação do solo, esse sistema tem sido reportado na literatura pela maior suscetibilidade aos processos erosivos e a perda de nutrientes, em função do frequente revolvimento e desestruturação (LANZANOVA et al., 2013; SINGH & SIDHU, 2014).

A inclusão de plantas de cobertura surge como alternativa de manejo para a entressafra, possibilitando a proteção física do solo, a ciclagem de nutrientes e o incremento de renda na propriedade. Para Silva et al. (2007), as espécies ideais para esse propósito são aquelas que produzem elevadas quantidades de massa seca, são resistentes ao ataque de pragas e doenças, e ao mesmo tempo, apresentam baixa exigência em fertilidade do solo. Dentre as espécies melhor adaptadas, pode-se destacar o azevém (*Lolium multiflorum*), o qual possui elevado potencial de produção de massa no sistema de rotação com arroz irrigado, com valores superiores a 7 Mg ha⁻¹ (CORREIA et al., 2013). Aliado a isso, a cultura possui outros pontos atrativos, como a facilidade de implantação e utilização diversificada, podendo-se citar o pastejo animal, a produção de feno e a própria cobertura do solo.

Por outro lado, a quantidade de palha no momento da semeadura é um dos grandes questionamentos acerca da utilização de plantas de cobertura nesse ambiente. Quando em grandes quantidades sobre a superfície do solo, a palha pode alterar a ação dos elementos que compõem a demanda evapotranspirativa da atmosfera (FERREIRA et al., 2015), aumentando a retenção de umidade e, conseqüentemente, reduzindo ainda mais o intervalo hídrico ótimo para operações mecanizadas. Em função disso, pode-se ter problemas em implantar a cultura da soja na melhor época, bem como ocasionar dificuldade na germinação das sementes em função do contato semente-solo. O desenvolvimento inicial das plantas pode ainda ser

prejudicado devido à competição com microrganismos por nutrientes e por possíveis efeitos alelopáticos (NOBREGA et al., 2009; WELLS et al., 2013).

Manejos que reduzam a quantidade de palha no momento da semeadura são essenciais para viabilizar sua utilização nessas áreas. Uma das alternativas refere-se à época de dessecação das plantas, visto que, a ampliação do tempo de permanência dos resíduos sobre o solo aumenta a decomposição dos mesmos (FERREIRA et al., 2015). Aliado a isso, quando a planta é manejada mais jovem e, por consequência, apresentar relação folha:colmo elevada, a degradação ocorre de forma mais acentuada, em virtude da menor relação carbono/nitrogênio do material (REDIN et al., 2014).

A utilização de métodos físicos é outra alternativa, onde a retirada de palha para a confecção de feno pode ser destacada. Segundo trabalho realizado por Ferreira (2012), o azevém possui elevado potencial de produção de feno em áreas de terras baixas, chegando a produzir mais de 4,5 Mg ha⁻¹, representando uma fonte de renda alternativa para o produtor. Outro ponto a ser observado refere-se à época de corte das plantas, dado que o estágio de desenvolvimento da forrageira exerce marcante influência sobre sua qualidade nutricional (SKONIESKI et al., 2011). Assim, é importante a busca por um equilíbrio entre a produção de massa, qualidade nutricional e tempo para o rebrote das plantas.

Baseado nas considerações acima, o presente estudo teve por objetivo determinar o efeito de épocas de dessecação e fenação do azevém na entressafra sobre a qualidade do feno produzido e o acúmulo de fósforo e potássio no solo, bem como, quantificar os efeitos da massa seca remanescente sobre o estabelecimento e desenvolvimento da soja em área de terras baixas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo, durante as safras agrícolas de 2015/16 e 2016/17, na área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O solo do local é classificado como Planossolo Háptico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2013). O clima da região enquadra-se na classe “Cfa”, subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961), com precipitação média de 1.616 mm ao ano.

O solo da área experimental possuía na primeira safra as seguintes características físico-químicas: argila= 26 e 28%, MO= 2 e 1,3%, pH em água (1:1)= 6,1 e 5,1; saturação de bases= 69,9 e 40,8%; saturação por Al= 0 e 1,5%; P-Mehlich= 18,6 e 5,3 mg dm⁻³; K= 64 e 26 mg dm⁻³ e CTC pH7= 13,1 e 16,4 cmol_c dm⁻³ nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de

profundidade, respectivamente. Os dados de precipitação e temperatura estão apresentados na Figura 4.

O experimento foi conduzido nas mesmas unidades experimentais durante os dois anos de estudo, sendo utilizado o delineamento de blocos ao acaso em um fatorial $(5 \times 2) + 1$, e quatro repetições. O fator A foi formado por dois manejos das plantas do azevém: (A1) corte para produção de feno e (A2) dessecação das plantas. Os níveis do fator D foram compostos por cinco épocas de fenação e dessecação: (D1) 82 e 73 dias antes da semeadura da soja (DASS), (D2) 70 e 61 DASS, (D3) 58 e 49 DASS, (D4) 46 e 37 DASS e (D5) 34 e 25 DASS, respectivamente, para as safras agrícolas 2015/16 e 2016/17. Foi testado também um tratamento pousio, sem azevém na entressafra. As unidades experimentais foram compostas por 3 m de largura e 10 m de comprimento, com área útil de 30 m².

Para os tratamentos com fenação, as plantas foram cortadas com uma roçadeira motorizada, a altura média de 0,1 m, sendo então mantidas em exposição ao sol para a perda do excesso de umidade. Nos tratamentos com dessecação, realizou-se a aplicação de glyphosate (1440 g e.a. ha⁻¹) com auxílio de uma máquina costal elétrica equipada com pontas do tipo leque e volume de calda de 100 L ha⁻¹. Na data do último manejo (34 DASS safra 2015/16 e 25 DASS safra 2016/17), os rebrotes do azevém nas áreas com produção de feno também foram dessecados, conforme descrito acima. No pousio, foram realizadas três dessecações durante a entressafra, assim, no momento da semeadura, a massa seca remanescente era de aproximadamente 300 kg ha⁻¹.

A área de instalação do experimento apresentava-se sistematizada, sendo cultivada previamente com arroz na safra 2013/14 e soja na 2014/15. No primeiro ano, no início do mês de maio, foi aplicado na área 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 60%), sendo incorporado através de gradagem superficial (0,1 m de profundidade). A semeadura do azevém foi realizada a lanço na quantidade 35 kg ha⁻¹. Na primeira safra, a semeadura ocorreu no dia 23 de maio de 2015, em área previamente preparada e, na segunda safra, logo após a colheita da soja, em 21 de abril de 2016. A adubação se constituiu de três aplicações de nitrogênio (30 kg ha⁻¹ cada) em cobertura, aos 30, 60 e 90 dias após a implantação da cultura.

A semeadura da soja ocorreu nos dias 7 de dezembro de 2015 (safra 2015/16) e 21 de novembro 2016 (safra 2016/17). No primeiro ano, utilizou-se a cultivar BMX Valente, já para o segundo, optou-se pela BMX Ícone, ambas com hábito de crescimento indeterminado. A densidade de semeadura foi de 32 sementes m⁻². A adubação de base se constituiu de 21,5 kg ha⁻¹ de N, 86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 86 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de semeadura. No estágio fenológico V6 (FEHR & CAVINESS, 1977), foi aplicado a lanço mais 30 kg ha⁻¹ de K₂O. Os

demais tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA, 2014).

Para a semeadura da soja, foi utilizada a semeadora-adubadora pantográfica MF 407 da Massey Ferguson, composta por seis linhas espaçadas 0,50 m entre si e massa aproximada de 2,3 Mg. Para o corte da palha, foi utilizado o disco liso de 0,47 m de diâmetro e, para a deposição do fertilizante, optou-se pelo disco ondulado com 18 ondas. Os dosadores de semente foram do tipo disco alveolado de polietileno, com 90 alvéolos e 8 mm de diâmetro.

No azevém, a massa seca das plantas foi determinada através da coleta de duas amostras de 0,25 m² por unidade experimental no momento de cada manejo, bem como por ocasião da semeadura, visando quantificar a massa seca remanescente. Para os tratamentos com dessecação, o corte das plantas foi realizado rente ao solo, já para os com produção de feno, a uma altura média de 0,1 m, possibilitando assim, o rebrote das plantas. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingirem massa constante, sendo então pesadas em balança de precisão.

Após a confecção do feno, foram coletadas amostras para a quantificação dos parâmetros qualitativos da massa de forragem. No laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes (LABRUMEN) da UFSM, foram determinados os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN), segundo a metodologia sequencial de Van Soest et al. (1991). O teor de proteína bruta foi obtido através da destilação por Kjeldahl, determinando-se o nitrogênio total e, posteriormente, multiplicando-o por 6,25. A digestibilidade “*in vivo*” foi determinada conforme a metodologia adaptada de Tilley e Terry (1963). No azevém, ainda foi quantificado a relação folha:colmo das plantas, sendo coletadas duas amostras de 0,04 m² por unidade experimental, separando-se manualmente as frações citadas acima.

No solo, foram avaliados os teores de fósforo e potássio na safra 2016/17. Para isso, 1 DASS foram coletadas oito subamostras de solo por unidade experimental na camada de 0-0,1 m de profundidade, com o auxílio de um trado calador. As amostras foram homogeneizadas, identificadas e enviadas ao Laboratório de Análise de Solos (LAS) da UFSM. A umidade volumétrica também foi determinada 1 DASS, sendo realizadas amostragens nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, com auxílio de anéis volumétricos de estrutura indeformada. Após a coleta, as amostras foram pesadas e secas em estufa a 105°C durante 24h para a determinação da densidade do solo, a qual foi utilizada no cálculo da umidade volumétrica do mesmo.

Na soja, determinaram-se as variáveis população inicial de plantas (PIP), estatura, massa seca da parte aérea (MSPA), Índice SPAD, massa seca de nódulos (MSN) e produtividade de grãos. A PIP foi mensurada pela contagem do número de plantas estabelecidas em uma área 4 m² previamente demarcada na segunda e terceira linha de semeadura. No estágio fenológico V6 na safra 2015/16 e V7 na 2016/17, coletou-se um monólito de solo de 0,5x0,4x0,20 m (comprimento, largura e profundidade, respectivamente) contendo cinco plantas por unidade experimental. Após, o sistema radicular foi lavado em água corrente para a separação do solo. Os nódulos foram separados das raízes manualmente, sendo levados juntamente com a parte aérea das plantas a estufa de ventilação forçada a 65°C para a determinação da massa seca.

O índice SPAD foi avaliado com clorofilômetro SPAD 502 DL Meter, marca Minoleta. A medição foi realizada em três locais do terceiro trifólio completamente expandido do ápice para a base de 10 plantas por unidade experimental. A produtividade de grãos foi determinada por meio da colheita manual de uma área de 7,5 m². Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos, os valores foram corrigidos para 13% de umidade e expressos em kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros). A análise da variância foi realizada através do teste F. Para os parâmetros avaliados no azevém, as médias do fator quantitativo quando significativas foram submetidas à análise de regressão polinomial. Quando se comparou o tratamento pousio com os demais, optou-se pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade do erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas duas safras analisadas, o rendimento de massa seca (MS) do azevém foi influenciado pelas épocas de manejo. Conforme se observa na Figura 1, a produção máxima de MS ocorreu nos tratamentos com dessecação aos 46 DASS na safra 2015/16 e aos 37 DASS na 2016/17, com produção de 5690 e 10430 kg ha⁻¹, respectivamente. Quando a dessecação foi realizada de forma antecipada, aos 82 e 73 DASS, houve redução significativa na MS acumulada, aproximadamente 50%, sendo essa uma importante ferramenta no controle da produção de palha nessas áreas. Nos tratamentos com fenação, percebe-se a mesma tendência. Os valores de MS retirados da área variaram de 2582 a 4538 kg ha⁻¹ na primeira safra, e de 3595 a 8376 kg ha⁻¹ na segunda, representando assim, uma importante oportunidade de renda durante o período da entressafra. Além disso, a época de corte afetou

diretamente a capacidade de rebrote das plantas (Figuras 1B e 1E), sendo tão mais acentuado o acúmulo de MS quanto mais cedo ocorreu a fenação.

Como consequência, a MS remanescente (1 DASS) também foi influenciada pelos tratamentos, apresentando interação significativa entre os fatores estudados (Figuras 1C e 1F). De forma geral, os manejos com dessecação proporcionaram maior MS no momento da semeadura quando comparados aos com feno, visto que nesse último houve a retirada de palha da área. As dessecações mais próximas à semeadura da soja, aos 34 e 25 DASS, resultaram em 4637 e 7930 kg ha⁻¹ de MS remanescente, respectivamente. Por outro lado, dessecações mais antecipadas reduziram consideravelmente a quantidade de palha no momento da semeadura, fato esse que pode ser atribuído a menor massa das plantas no momento do manejo, associado ao maior período de tempo para atuação dos microrganismos do solo (ZIECH et al., 2015). Resultados semelhantes são descritos por Ferreira et al. (2015), onde a dessecação do azevém aos 15 DAS do arroz proporcionou MS remanescente próxima a 4 Mg ha⁻¹, valor citado como prejudicial ao estabelecimento inicial das plantas e a produtividade de grãos quando comparado as dessecações aos 45 e 60 DAS e ao pousio.

Com relação à qualidade nutricional do feno, a mesma declinou com o avanço do ciclo da cultura nas duas safras (Figura 2). No entanto, na safra 2016/17, a redução foi mais acentuada, visto que as plantas se encontravam em estágio fenológico mais avançado quando se iniciaram os manejos. O teor de proteína bruta (PB) variou de 7,5 a 16% na primeira safra, e de 4 a 10,6% na segunda. De acordo com a NCR (1984), para bovinos em terminação recomenda-se uma dieta com teor de PB de 12%, sendo que, valores abaixo de 10,5% podem ocasionar a redução da capacidade digestiva de fibras, resultando em menor consumo da forragem (CAVALCANTE et al., 2006). Cabe ressaltar que no presente estudo se verificou valores de PB acima do recomendado apenas nos cortes realizados aos 58, 70 e 82 DASS na safra 2015/16 e aos 73 DASS na 2016/17, se fazendo necessário para as demais épocas a utilização de suplementação para maximizar o consumo e a engorda dos animais.

Em contrapartida, os teores de fibra aumentaram com a proximidade da semeadura da soja. A FDA teve um incremento de 30% entre o primeiro e o último corte, enquanto na FDN o incremento foi de 20%. Esses resultados podem ser atribuídos à alteração na estrutura das plantas, onde a relação folha:colmo passou de 1,7 para 0,3 da primeira para a última época de fenação. Esses resultados corroboram com os de Pellegrine et al. (2010), onde aumentos lineares nos valores de FDN e FDA ocorreram quando a participação de folhas foi reduzida de 50% para 8%, tendo como principal causa o aumento dos teores de celulose e hemicelulose na constituição celular. Além disso, os mesmos autores citam que forragens de alta qualidade

apresentam valores de FDA e FDN inferiores a 30 e 60%, respectivamente, o que apenas foi verificado na fenação realizada aos 82 e 70 DASS na primeira safra e 73, 61 e 49 DASS na segunda. Dessa forma, pode-se inferir que é possível produzir forragem de azevém de alta qualidade nessas áreas, sendo a época de corte o fator determinante. Assim, o produtor deve contrapor os pontos de qualidade nutricional, quantidade de feno produzido e MS remanescente em função de suas prioridades e/ou necessidades.

Na análise do teor de potássio no solo 1 DASS na safra 2016/17 (Figura 3A), observa-se que os tratamentos com fenação apresentaram valor em média 37% inferior aos com dessecação e 29% em relação ao pousio. Esse resultado em parte pode ser explicado pela exportação de MS da área, pois, em algumas épocas de fenação, mais de 12 Mg de MS ha⁻¹ foram removidos, se considerado o acumulado das duas safras, a exemplo dos cortes aos 34 e 46 DASS na primeira safra e aos 25 e 37 DASS na segunda. Nessa perspectiva, Assmann et al. (2009) citam que forrageiras como o azevém apresentam valores próximos a 1,5% de potássio em sua constituição vegetal, ou seja, se for considerado esse valor médio, a exportação acumulada do nutriente seria superior a 150 kg ha⁻¹ nos tratamentos referidos acima.

Por outro lado, o teor de fósforo no solo não foi afetado (Figura 3B), apresentando valor médio de 19,2 mg dm⁻³. Esse resultado é esperado em função da pequena quantidade relativa de fósforo na constituição da MS do azevém, o qual está situado entre 0,2-0,4% (ASSMANN et al., 2009). Dessa forma, a exportação máxima de fósforo estaria próximo a 35 kg ha⁻¹, valor que possivelmente tenha sido suprido pela adubação realizada na cultura da soja. A longo prazo, no entanto, essa exportação pode vir a ocasionar redução nos teores desse nutriente no solo, bem como agravar os de potássio. Assim, deve-se calcular o balanço de nutrientes no sistema, realizando-se a reposição dos mesmos.

A umidade do solo 1 DASS (Tabela 1), em ambas as safras, esteve estritamente relacionada à MS remanescente sobre a superfície. Sendo assim, os tratamentos com dessecação resultaram em valores de umidade próximos ou superiores à capacidade de campo (0,35 m³m⁻³) na camada de 0-0,05 m. Cabe ressaltar ainda que o tratamento em pousio (sem azevém) apresentou os menores valores de umidade do solo em ambas as safras, sendo que, na 2016/17, foi estatisticamente inferior aos demais, com redução de 41% quando comparado à média dos tratamentos dessecados e 30% com relação aos com produção de feno.

Na camada de 0,05-0,1 m, observa-se a mesma tendência, porém com menor magnitude em relação à camada mais superficial. Já na profundidade de 0,1-0,2 m não se verificou diferença significativa entre os tratamentos. Resultados semelhantes são descritos

por Rosin et al. (2012), onde a utilização de 5 e 10 Mg ha⁻¹ de milho resultaram no aumento de 19 e 29% na umidade gravimétrica do solo na camada de 0-0,1 m, respectivamente, quando comparado ao sistema sem palhada. Em detrimento a isso, Chen et al. (2007) salientam que resíduos de culturas sobre a superfície do solo reduzem a taxa de perda de água, pois aumentam o sombreamento e reduzem o fluxo de ar próximo ao solo, fatores esses que em última instância determinam a demanda evapotranspirativa da atmosfera.

Nesse cenário, a dessecação das plantas de azevém, associada à manutenção de grandes quantidades de resíduos (maior que 2 Mg ha⁻¹) sobre a superfície resulta no aumento da retenção de água no solo. Apesar de desejável sob o ponto de vista de proteção do solo, essa situação pode vir a tornar-se um problema nessas áreas baixas, reduzindo ainda mais o período ótimo para o trabalho mecanizado. Dentre as operações que podem ser afetadas destaca-se a semeadura, a qual é muito exigente em relação à época e condição de umidade do solo. A fenação, independentemente da época, mostrou-se uma boa opção, reduzindo o teor de água no solo e ao mesmo tempo permitindo maior proteção aos processos erosivos, quando comparado ao sistema em pousio.

Nos parâmetros avaliados na soja, não houve diferença significativa para a PIP na safra 2015/16, sendo estabelecidas 17,3 plantas m⁻², cerca de 50% do número de sementes utilizadas. Em parte, esse baixo estande inicial pode ser atribuído à precipitação de 67 mm que ocorreu nos seis dias que se seguiram à semeadura (Figura 4A), visto que o processo germinativo de sementes é muito sensível à disponibilidade de oxigênio no solo (GRABLE & DANIELSON 1965). Nesse sentido, Wu et al. (2017) relatam que um período de alagamento de 36 horas, três dias após a semeadura da soja já é suficiente para reduzir a germinação de sementes de 79,2% para menos de 40%. Nota-se então que o tempo compreendido entre a semeadura e a ocorrência de precipitação, bem como a duração e intensidade da mesma, tornam-se um ponto crítico no estabelecimento de um adequado estande de plantas de soja em áreas de terras baixas, principalmente em função da dificuldade de drenagem desses solos. As demais variáveis analisadas nas plantas como estatura, MSPA e MSN não foram afetadas pelos tratamentos, bem como a produtividade de grãos, que apresentou média de 2978 kg ha⁻¹.

Por outro lado, na safra agrícola 2016/17, o manejo da entressafra influenciou os resultados obtidos na soja. A PIP foi superior no tratamento em pousio, sendo estabelecidas 25,6 plantas m⁻², 33% a mais que a média dos demais tratamentos e dentro da faixa recomendada para a cultivar. Dentre as possíveis explicações para esse resultado, pode-se destacar a umidade do solo no momento da semeadura, pois a mesma é um dos parâmetros determinantes da qualidade dessa operação.

No pousio, a umidade de $0,24 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ observada na camada de 0-0,05 m de profundidade, proporcionou melhor plantabilidade da cultura, com ênfase para o bom contato das sementes com o solo. Por outro lado, nos tratamentos com dessecação, a elevada umidade do solo ($0,38 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ em média) associada a grande quantidade de MS sob a superfície (3,8 a $7,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) resultou em dificuldade no corte da mesma, fazendo com que parte da palha fosse incorporada no sulco de semeadura. Já nos tratamentos com produção de feno, apesar da menor MS remanescente, também se verificou problemas no fechamento dos sulcos de semeadura em função do espelhamento lateral. Como resultado, em ambos os manejos do azevém, o contato semente-solo ficou prejudicado, o que dificultou a absorção da água necessária para que o processo germinativo fosse completado.

Para as variáveis analisadas no estágio V7, o pousio possibilitou o incremento de 27% na estatura e 30% na MSPA das plantas em relação à média dos demais tratamentos. Essa resposta em parte é reflexo do processo germinativo das sementes. Sendo assim, nos tratamentos com manejo do azevém na entressafra (dessecação e fenação), a germinação foi desencadeada em grande parte das sementes apenas após a precipitação ocorrida no quarto dia após a semeadura, atrasando assim a emergência e, conseqüentemente, o desenvolvimento inicial das plantas. Esses resultados corroboram com os descritos por Modolo et al. (2011) para a cultura do feijão, onde o atraso na emergência das plantas resultou em reflexos na MSPA avaliada aos 21 dias após a semeadura. Além disso, os problemas referentes à plantabilidade podem ter sido potencializados pela presença de compostos alelopáticos. De acordo com Nobrega et al. (2009), a germinação e o crescimento inicial das plantas de soja podem ser afetados negativamente pela liberação de compostos metabólicos secundários durante a decomposição dos resíduos vegetais do azevém.

Como resultado da plantabilidade e do estabelecimento inicial de plantas na safra 2016/17, constatou-se que o pousio proporcionou maior produtividade de grãos da soja, 3812 kg ha^{-1} , valor 17% superior aos tratamentos com utilização do azevém na entressafra. Conforme Cruz et al. (2016), o estabelecimento de um estande de plantas compatível com as exigências da cultivar é um dos principais fatores que determinam a produtividade de grãos da soja, visto que a cultura possui capacidade compensatória em função de seus componentes de rendimento (número de vagens por planta, grãos por vagem e massa de mil grãos) limitada. Dessa forma, cabe destacar que no presente estudo, o pousio (sem azevém na entressafra) viabilizou um incremento de 85 mil plantas ha^{-1} em relação à média dos demais tratamentos, diferença essa muito grande para que houvesse compensação satisfatória pelas plantas.

De forma geral, o azevém mostrou-se uma boa opção para áreas tradicionais de cultivo de arroz irrigado, apresentando elevado potencial de produção de massa (mais de 10 Mg ha⁻¹) e boa tolerância ao excesso hídrico, podendo ser uma alternativa de renda através da produção de feno. Entretanto, independentemente da época de fenação ou dessecação, houve dificuldades no estabelecimento inicial da soja em sucessão. Dessa forma, sua utilização nesse sistema deve ser feita com cautela, devendo o produtor e o técnico atentar-se para a quantidade de massa produzida, para a capacidade de drenagem da área, para a qualidade da sementeira disponível e, principalmente, para as perspectivas meteorológicas do ano.

CONCLUSÕES

A produção de feno de azevém em área de terras baixas é uma alternativa viável, entretanto, reduz o teor de potássio no solo caso não seja feita a adubação de reposição.

Em anos de elevada precipitação pluvial na sementeira da soja, independentemente da época de fenação ou dessecação, o azevém ocasiona redução na produtividade de grãos da soja cultivada em área de terras baixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSMANN, J.M.; BRAIDA, J.A.; CASSOL, L.C.; MAGIERO, E.C.; MANTELI, E.; GRIZ, E. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2408-2416, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000800021.

CAVALCANTE, M.A.B.; PEREIRA, O.G.; FILHO, S.C.V.; RIBEIRO, K.G.; PACHECO, L.B.B.; ARAUJO, D.; LEMOS, V.M.C. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: parâmetros ruminais, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.203-210, 2006. DOI: 10.1590/S1516-35982006000100026.

CHEN, S.Y.; ZHANG, X.Y.; PEI, D.; SUN, H.Y.; CHEN, S.L. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. **Annals of Applied Biology**, v.150, p.261-268, 2007. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00144.x.

CORREIA, S.L.; SILVA, P.R.F.; SERPA, M.S.; VALDIRENE, M.V.; BOENI, M.; MENEZES, G.B. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.512-520, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000200022.

CRUZ, S.C.S.; SENA-JUNIOR, D.G.; SANTOS, D.M.A.; LUNEZZO, L.O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3, n.1, p.1-6, 2016.

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, 2014. 142p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p. (Boletim técnico).

FAGERIA, N.K.; CARVALHO, G.D.; SANTOS, A.B.; FERREIRA, E.P.B.; KNUPP, A.M. Chemistry of lowland rice soils and nutrient availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.42, p.1913–1933, 2011. DOI: 10.1080/00103624.2011.591467.

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

FERREIRA, R.B. **Manejo da palha do azevém na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos de arroz irrigado**. Santa Maria, 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 2012.

FERREIRA, R.B.; MARCHESAN, E.; COELHO, L.L.; OLIVEIRA, M.L.; TELO, G.M.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; SARTORI, G.M.S. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2143-2149, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131473.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; DONATO, G.; SILVA, P.R.F.; KAISER, D.R.; ARAMBURU, B.B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.261-270, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000300008.

GRABLE A.R. & DANIELSON, R.E. Effect of carbon dioxide, oxygen, and soil moisture suction on germination of corn and soybeans. **Soil Science Society**, v.29, n.1, p.12-18, 1965. DOI: 10.2136/sssaj1965.03615995002900010007x.

LANZANOVA, M.E.; ELTZ, F.L.; NICOLOSO, R.S.; CASSOL, E.A.; BERTOL, I.; AMADO, T.J.; GIRARDELLO, V.C. Residual effect of soil tillage on water erosion from a typic paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1689-1698, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600025.

LIMA, A.C.R.; HOOGMOEDB, W.B.; PAULLETO, A.; PINTO, L.F.S. Management systems in irrigated rice affect physical and chemical soil properties. **Soil and Tillage Research**, v.103, n.1, p.92-97, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.09.011.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**. Anais... Santa Maria: SOSBAI, v.2, p.1628-1637, 2013.

MODOLO, A.J.; TROGRELLO, E.; NUNES, A.L.; SILVEIRA, J.C.M.; KOLLING, E.M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.1, p.89-95, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i1.4236.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1961. 41p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1984.

NOBREGA, L.H.P.; LIMA, G.P.; MARTINS, C.L.; MENEGHETTI, A.M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max L. Merrill*) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum**, v.31, n.3, p.461-465, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.320.

PELLEGRINE, L.G.; MONTEIROS, A.L.G.; NEUMANN, M.; MORAES, A.; PELLEGRIN, A.C.R.S.; LUSTOSA, S.B.C. Produção e qualidade de azevém-anual submetido a adubação nitrogenada sob pastejo por cordeiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p.1894-1904, 2010. DOI: 10.1590/S1516-35982010000900006.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; DIETRICH, G.; SKOLAUDE, A.C.; LUDKE, W. H.; SCHMATZ, R.; GIACOMINI, S.J. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology & Biochemistry**, v.78, p.65-75, 2014. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.07.014.

ROSIM, D.C.; MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, v.71, n.4, p.502-508, 2012. DOI: 10.1590/S0006-87052013005000003.

SILVA, A.A.; SILVA, P.R.F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STREIDER, M.L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.928-935, 2007. DOI: 10.1590/S0103-84782007000400002.

SINGH, Y. & SIDHU, H.S. Management of cereal crop residues for sustainable rice-wheat production system in the Indo-Gangetic plains of India. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v.80, p.95-114, 2014. DOI: 10.16943/ptinsa/2014/v80i1/55089.

SKONIESKI, F.R.; VIEGAS, J.; BERMUDEZ, R.F.; NORBERG, J.L.; ZIECH, M.F.; COSTA, O.A.D.; MEINERZ, G.R. Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.550-556, 2011. DOI: 10.1590/S1516-35982011000300012.

TILLEY, J.M.A. & TERRY, R.A. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, n.2, p.104-111, 1963. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.

WELLS, M.S.; REBERG-HORTON, S.C.; SMITH, A.N.; GROSSMAN, J.M. The reduction of plant-available nitrogen by cover crop mulches and subsequent effects on soybean performance and weed interference. **Agronomy Journal**, v.105, n.2, p.539-545, 2013. DOI: 10.2134/agronj2012.0396.

WU, C.; CHEN, P.; HUMMER, W.; ZENG, A.; KLEPADLO, M. Effect of flood stress on soybean seed germination in the field. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, p.53-68, 2017. DOI: 10.4236/ajps.2017.81005.

ZIECH, A.R.D.; CONCEIÇÃO, P.C.; LUCHESE, A.V.; BALIN, N.M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T.G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.5, p.374-382, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500004.

Figura 1 - Massa seca no momento do manejo (A e D), massa seca dos rebrotes (B e E) e massa seca remanescente (C e F) do azevém em função da época de fenação e dessecação das plantas visando a semeadura da soja em área de terras baixas sistematizada. Safra 2015/16 (A, B e C) e safra 2016/17 (D, E e F). Santa Maria, RS. 2017.

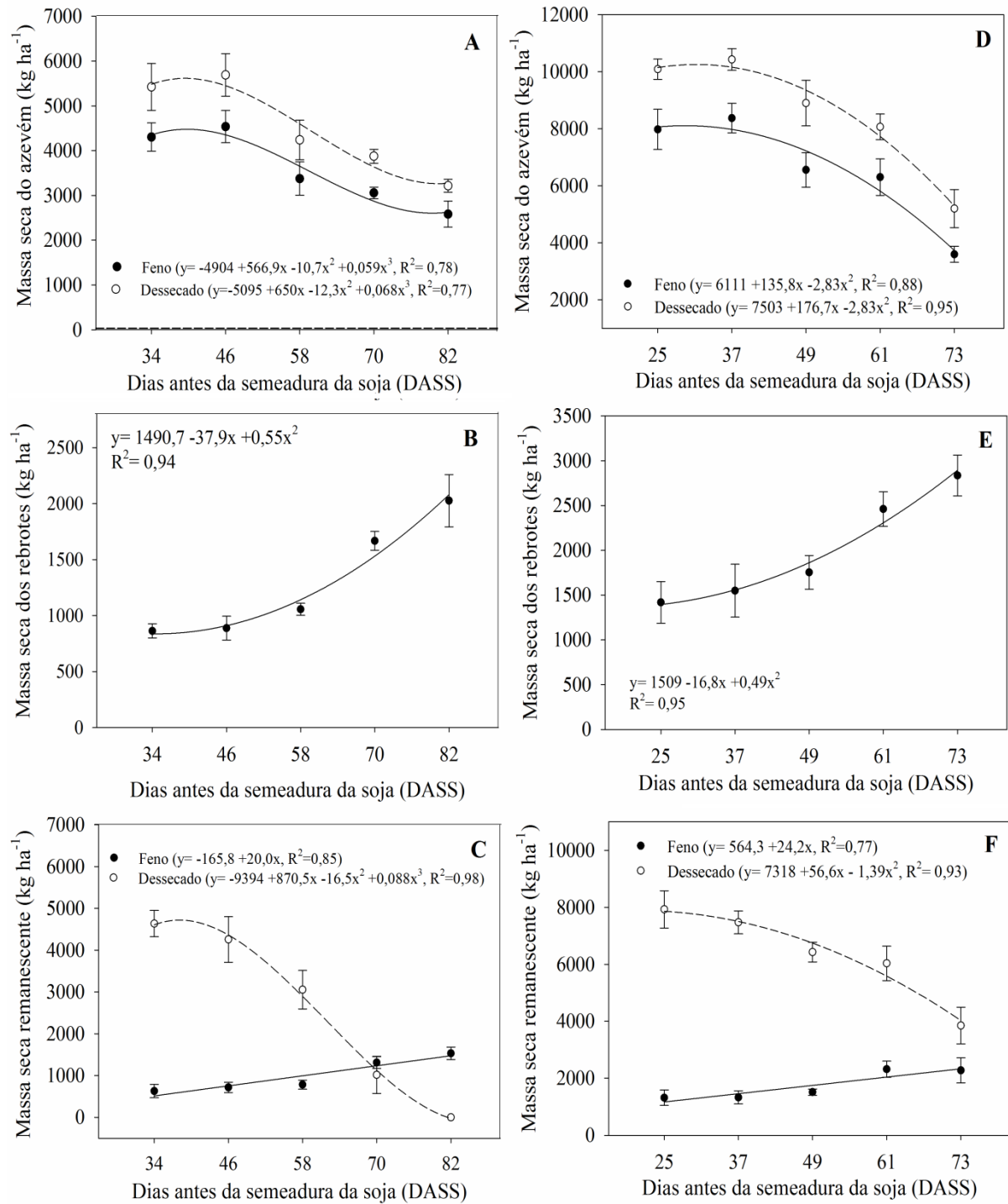


Figura 2 - Proteína bruta (A), digestibilidade da matéria orgânica (B), fibra em detergente neutro (C), fibra em detergente ácido (D) e relação folha-colmo (E) das plantas de azevém em função da época de corte para produção de feno em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.

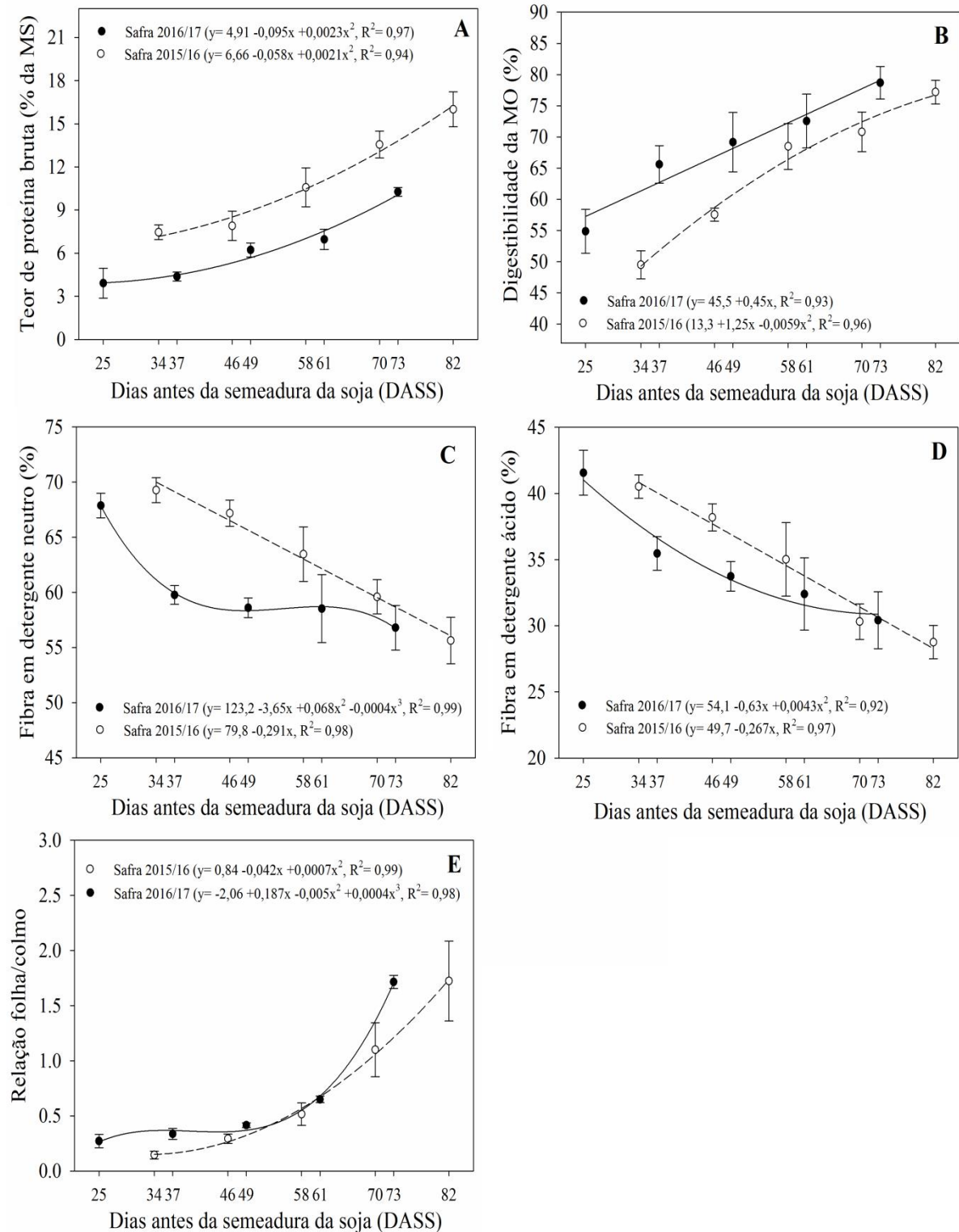


Figura 3 - Teor de potássio (A) e fósforo (B) no solo um dia antes da semeadura da soja na safra 2016/17, em função da época de fenação e dessecação do azevém em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017. Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), NS-Não significativo.

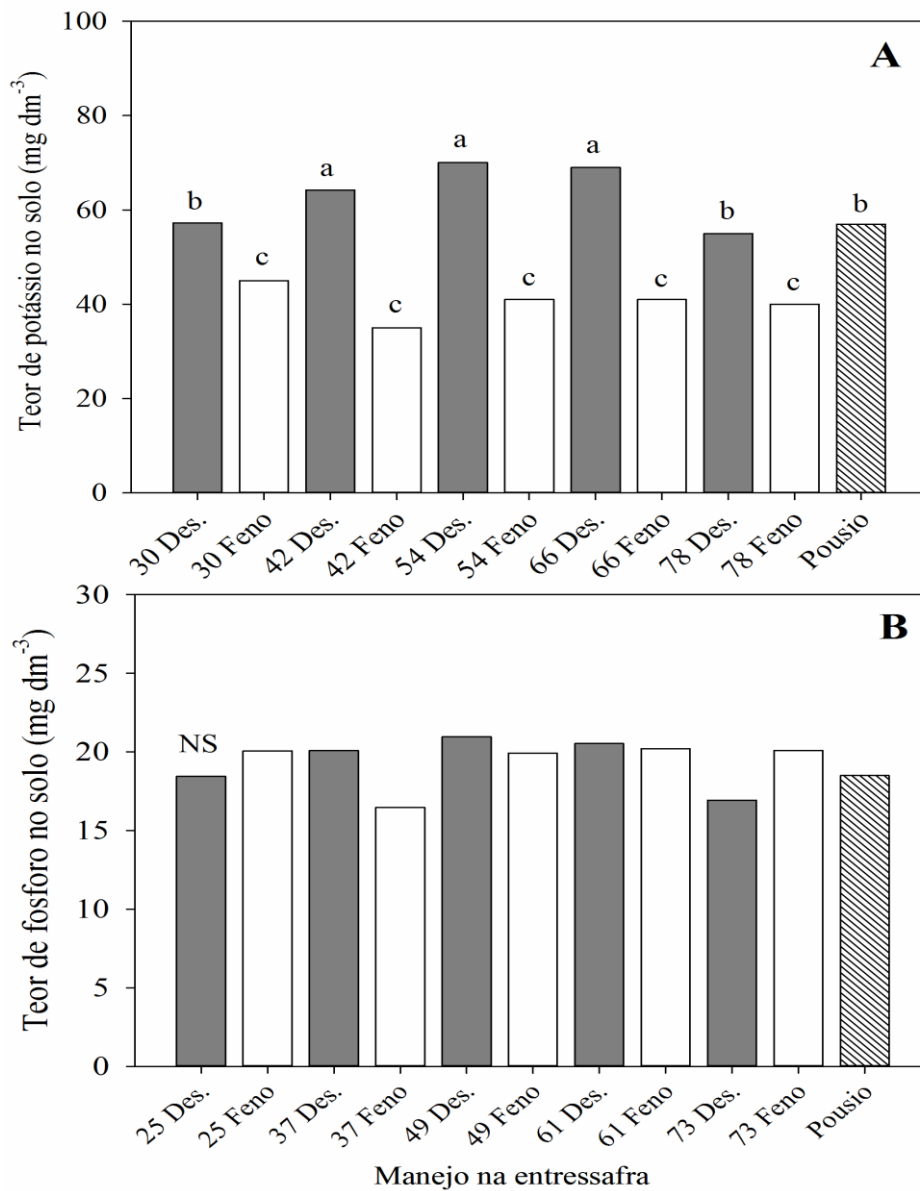


Tabela 1 - Umidade volumétrica do solo nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade um dia antes da semeadura da soja em função da época de fenação e dessecação do azevém em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.

Tratamentos	Safrá 2015/16		
	-----m ³ m ⁻³ -----		
	0-0,05 m	0,05-0,1 m	0,1-0,2 m
Feno 82 DASS ⁽¹⁾	0,34 c ⁽²⁾	0,33 c	0,34 ^{ns}
Dessecação 82 DASS	0,29 d	0,33 c	0,35
Feno 70 DASS	0,31 d	0,33 c	0,34
Dessecação 70 DASS	0,34 c	0,34 c	0,34
Feno 58 DASS	0,29 d	0,32 d	0,34
Dessecação 58 DASS	0,37 b	0,35 b	0,33
Feno 46 DASS	0,27 e	0,31 d	0,34
Dessecação 46 DASS	0,39 b	0,35 b	0,34
Feno 34 DASS	0,29 e	0,32 d	0,34
Dessecação 34 DASS	0,40 a	0,37 a	0,35
Pousio (sem azevém)	0,26 e	0,33 c	0,35
Média	0,32	0,33	0,34
CV (%)	5,4	3,6	6,3
Tratamentos	Safrá 2016/17		
	-----m ³ m ⁻³ -----		
	0-0,05 m	0,05-0,1 m	0,1-0,2 m
Feno 73 DASS	0,34 b	0,34 b	0,35 ^{ns}
Dessecação 73 DASS	0,39 a	0,36 a	0,34
Feno 61 DASS	0,32 b	0,33 b	0,33
Dessecação 61 DASS	0,40 a	0,39 a	0,35
Feno 49 DASS	0,32 b	0,32 b	0,33
Dessecação 49 DASS	0,38 a	0,37 a	0,35
Feno 37 DASS	0,32 b	0,36 a	0,35
Dessecação 37 DASS	0,40 a	0,39 a	0,36
Feno 25 DASS	0,33 b	0,33 b	0,34
Dessecação 25 DASS	0,37 a	0,38 a	0,35
Pousio (sem azevém)	0,24 c	0,33 b	0,32
Média	0,35	0,35	0,34
CV (%)	7,1	6,2	6,2

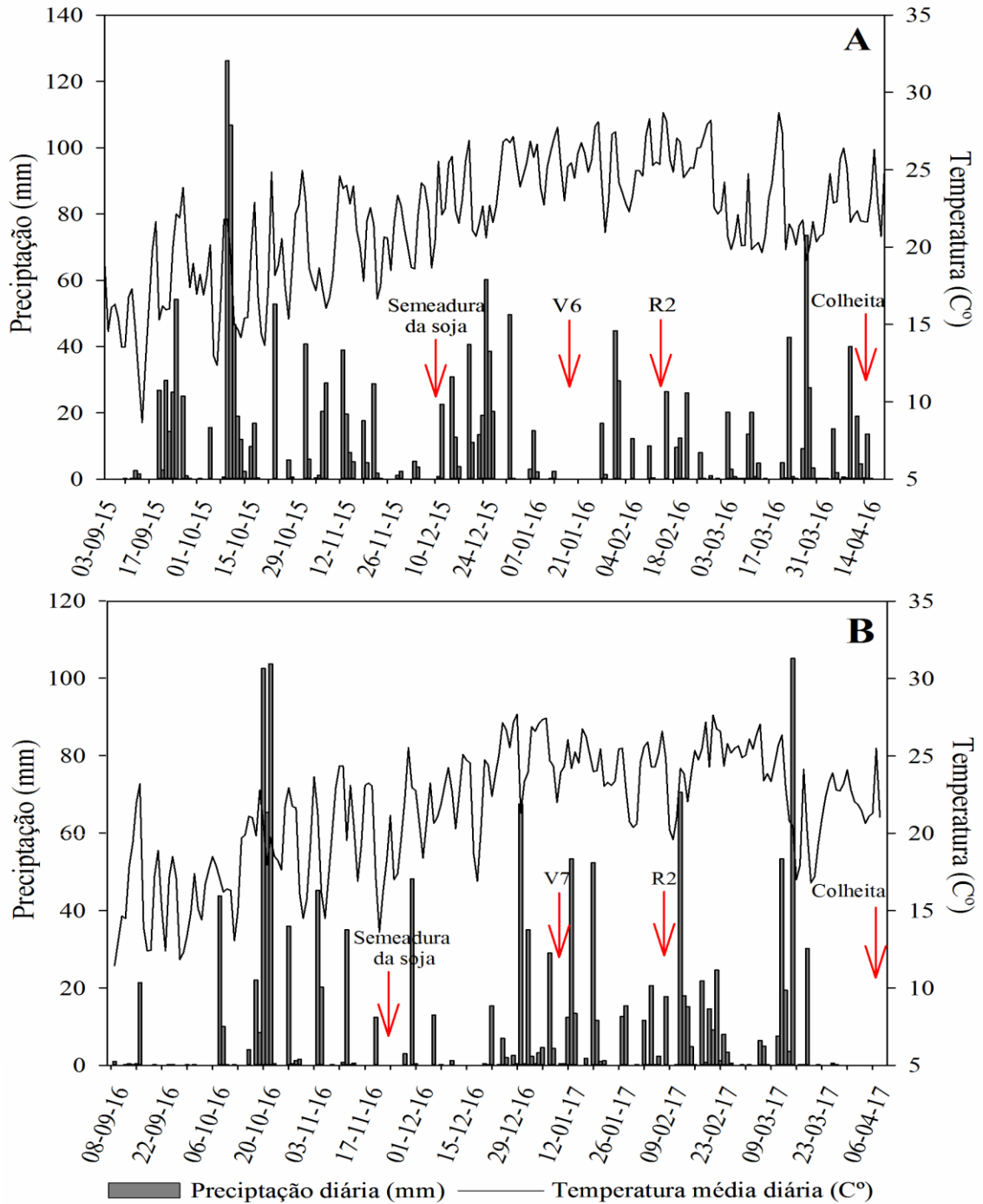
⁽¹⁾ Dias antes da semeadura da soja (DASS), ⁽²⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$), ^{ns} Não significativo.

Tabela 2 - População inicial de plantas (PIP), estatura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de nódulos (MSN), índice SPAD e produtividade de grãos (Prod.) em função da época de fenação e dessecação do azevém visando a semeadura da soja em área de terras baixas sistematizada. Santa Maria, RS. 2017.

-----Safra 2015/16-----						
Tratamentos	PIP (plantas m ⁻²)	Estatura (cm)	MSPA (g pl. ⁻¹)	MSN (mg pl. ⁻¹)	Índice SPAD	Prod. (kg ha ⁻¹)
Feno 82 DASS ⁽¹⁾	17,7 ^{ns}	21,1 ^{ns}	2,53 ^{ns}	147 ^{ns}	37,2 ^{ns}	2823 ^{ns}
Des. ⁽²⁾ . 82 DASS	20,0	21,5	2,49	161	35,9	3073
Feno 70 DASS	16,0	20,8	2,14	154	36,8	2932
Des. 70 DASS	17,2	22,1	2,70	158	36,8	2972
Feno 58 DASS	15,7	22,3	2,50	189	37,1	2769
Des. 58 DASS	17,7	21,0	2,09	145	37,4	3145
Feno 46 DASS	18,5	22,1	2,93	188	37,0	2814
Des. 46 DASS	17,2	20,2	2,26	161	36,5	2985
Feno 34 DASS	16,2	22,1	2,18	170	36,8	2957
Des. 34 DASS	14,2	20,4	2,09	154	36,6	2906
Pousio	19,7	20,8	2,39	152	34,8	3384
Média	17,3	21,3	2,4	161,6	36,6	2978
CV (%)	15,9	7,1	16,5	16,0	3,2	8,9
-----Safra 2016/17-----						
Tratamentos	PIP (plantas m ⁻²)	Estatura (cm)	MSPA (g pl. ⁻¹)	MSN (mg pl. ⁻¹)	Índice SPAD	Prod. (kg ha ⁻¹)
Feno 73 DASS	14,5 c ⁽³⁾	31,2 b	3,97 b	258	40,7 ^{ns}	3148 b
Des. 73 DASS	15,5 c	28,9 b	4,03 b	210	41,3	3370 b
Feno 61 DASS	15,0 c	28,2 b	4,00 b	197	41,7	3188 b
Des. 61 DASS	17,0 b	28,3 b	3,97 b	225	42,1	3381 b
Feno 49 DASS	14,5 c	26,8 b	4,07 b	169	41,3	3181 b
Des. 49 DASS	18,9 b	28,1 b	3,85 b	256	40,4	3292 b
Feno 37 DASS	17,5 b	26,8 b	3,39 b	192	40,9	3118 b
Des. 37 DASS	18,2 b	32,3 b	3,96 b	273	41,4	3025 b
Feno 25 DASS	14,2 c	25,9 b	3,58 b	222	40,8	2868 b
Des. 25 DASS	18,5 b	30,5 b	3,86 b	245	41,2	3113 b
Pousio	25,6 a	39,4 a	5,48 a	267	41,5	3812 a
Média	17,1	29,7	4,02	224	41,2	3227
CV (%)	14,7	9,7	14,4	26,1	3,0	5,8

⁽¹⁾ Dias antes da semeadura da soja (DASS), ⁽²⁾ Dessecado (Des.), ⁽³⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p≤0,05), ^{ns} Não significativo.

Figura 4 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2015/16 (A) e 2016/17 (B), na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2017.



3 CAPÍTULO II (Nota Científica)

MECANISMOS DA SEMEADORA E A PLANTABILIDADE DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

SEEDING MECHANISMS AND SOYBEAN PLANTABILITY IN LOWLAND AREAS

RESUMO

No cultivo da soja em áreas de terras baixas, o estabelecimento de um adequado estande inicial de plantas tem sido reportado como um dos maiores gargalos na busca por elevadas produtividades. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre a qualidade de distribuição de sementes e o estabelecimento inicial da soja em um Planossolo compactado. Para isso, foi conduzido um experimento na área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria durante a safra agrícola 2015/16. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições e quatro tratamentos, sendo eles: Haste sulcadora (HS) a 0,23 m de profundidade; HS a 0,13 m; Disco duplo a 0,07 m e Microcamalhão+HS a 0,12 m. Foram determinadas as variáveis referentes à distribuição longitudinal (falhas, duplas e aceitáveis) e vertical (profundidade) de sementes, índice de velocidade de emergência e população inicial de plantas. A HS a 0,23 m resultou no incremento de 30% na profundidade máxima de sementes quando comparada a média dos demais tratamentos. Nos sistemas com utilização da HS, houve maior coeficiente de variação na profundidade de deposição de sementes em relação ao disco duplo. A distribuição longitudinal, o índice de velocidade de emergência e a população inicial de plantas não foram afetados pelos tratamentos testados.

Palavras-chave: Qualidade de semeadura. Haste sulcadora. Germinação. Planossolo.

ABSTRACT

In soybean cultivation in irrigated rice areas, the establishment of an adequate initial plant stand has been reported as one of the major bottlenecks in the search for high yields. In this sense, the present study had as objective to evaluate the effect of seeder furrow opening mechanisms on the quality of seed distribution and initial establishment of soybean plants in a compacted albaqualf soil. For that, an experiment was conducted in lowland area of the

Universidade Federal de Santa Maria during the 2015/16 growing season. The design was randomized block with five replications and four treatments: Planter using shank (S) at 0,23 m depth; S at 0,13 m depth; Planter using double disk at 0,07 m depth and Raised-bed + S at 0,12 m depth. The variables related to the longitudinal distribution (faults, double and acceptable) and vertical (depth) of seeds, emergence speed index and initial population of plants were determined. The S at 0,23 m depth resulted in a 30% increase in the maximum seed depth when compared to the average of the other treatments. In systems using S, there was a higher coefficient of variation in the depth of seed deposition in relation to the double disc. The longitudinal distribution, the emergence speed index and the initial population of plants were not affected by the treatments tested.

Key words: Planting quality. Shank. Germination. Albaqualf soil.

A ocorrência de plantas daninhas resistentes à herbicidas é um dos principais fatores restritivos e de elevação dos custos da lavoura orizícola no sul do Brasil. Nesse cenário, o cultivo da soja em sistema de rotação com o arroz irrigado surgiu como alternativa para intensificar a produção de grãos nessas áreas, e assim assegurar a sustentabilidade do sistema produtivo (VERNETTI JR et al., 2009).

No entanto, os solos cultivados com arroz irrigado apresentam propriedades físicas desfavoráveis a culturas de sequeiro, como a presença de uma camada compactada próxima à superfície (LIMA et al., 2006), elevada resistência à penetração mecânica (PEDROTTI et al., 2001), baixa condutividade hidráulica e aeração deficiente (RIBEIRO et al., 2016). Diante disso, tem-se buscado alternativas de manejo que contribuam para a mitigação de possíveis estresses às plantas, e que, ao mesmo tempo, possibilitem baixo impacto sobre o custo e a operacionalidade do processo de implantação da cultura. A utilização de mecanismos sulcadores acoplados à semeadora-adubadora, e também de aivecas para a confecção de microcamalhões, tem sido reportadas como medidas eficientes para o cultivo de soja e milho nessas áreas (GIACOMELI et al., 2016; SARTORI et al., 2015).

Contudo, parâmetros relacionados ao estabelecimento e desenvolvimento de plantas podem ser afetados pelo tipo de mecanismo sulcador utilizado, como por exemplo, a distribuição de sementes. Segundo Bottega et al. (2014), a qualidade do processo de semeadura é decisiva no estabelecimento inicial das culturas, sendo responsável por viabilizar uma adequada população inicial de plantas. Desta forma, os mecanismos da semeadora devem proporcionar a correta distribuição das sementes (profundidade e distância), associado a um

bom contato semente-solo, possibilitando assim, a absorção da água necessária para o processo de germinação.

De acordo com Kaokoski et al. (2007), desuniformidades na profundidade de deposição das sementes no sulco de semeadura podem ocasionar emergência heterogênea das plantas. Sementes depositadas em profundidade maior que a necessária tem sua emergência atrasada, ficando suscetíveis ao ataque de patógenos e pragas, bem como ao selamento superficial e a deficiência de oxigênio devido à precipitações. Por outro lado, as depositadas superficialmente correm o risco de não conseguir absorver água suficiente para que o processo germinativo se complete. Na sequência, a distribuição longitudinal de sementes também assume importante papel na busca por elevados rendimentos, pois a presença de sementes falhas e duplas implica no aproveitamento ineficiente de recursos essenciais como luz, água e nutrientes (MODOLO et al., 2011).

Nesse sentido, REIS et al. (2006) relatam que se espera diferenças na qualidade de deposição de sementes por consequência da utilização de distintos sistemas de abertura de sulcos. Em trabalho realizado por Levien et al. (2011), a utilização da haste sulcadora na deposição do fertilizante gerou maior profundidade média de deposição das sementes quando comparada ao sistema de disco duplo. Koakoski et al. (2007) salientam ainda que esse mecanismo promove o aumento da desuniformidade de distribuição das sementes na linha de semeadura, tanto em profundidade como em espaçamento. Além disso, mecanismos auxiliares como aivecas para confecção de microcamalhões, por proporcionar maior mobilização do solo imediatamente antes da passagem do mecanismo dosador de sementes, podem potencializar heterogeneidades na deposição das mesmas no leito de semeadura.

Em vista do exposto e da incipiente literatura sobre o assunto em áreas de terras baixas, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre a qualidade de distribuição de sementes e o estabelecimento inicial da soja em um Planossolo compactado.

O experimento foi realizado na safra agrícola 2015/16, na área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. O solo da estação experimental pertence à unidade de mapeamento Vacacaí, sendo classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características: teor de argila= $0,240 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; silte= $0,202 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; areia= $0,558 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ e capacidade de campo= $0,35 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ na camada de 0-0,1 m de profundidade. O local de instalação do experimento continha pequena resteva de azevém no momento da semeadura, cerca de 450 kg ha^{-1} , e apresentava ainda valores de resistência à penetração de 0,85; 1,7; 2,5; 2,5; 2,3 e 2,2 MPa nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,1; 0,1-0,15;

0,15-0,2; 0,2-0,25 e 0,25-0,3 m de profundidade, respectivamente, com uma umidade volumétrica de $0,26 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos foram compostos por mecanismos sulcadores acoplados à semeadora-adubadora, sendo eles: Haste sulcadora com profundidade de trabalho de 0,23 m (HS 0,23 m); Haste sulcadora a 0,13 m (HS 0,13 m); Disco duplo a 0,07 m e Microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m (Micro+HS 0,12 m). O experimento foi semeado no dia 4 de janeiro de 2016, com a cultivar NS 5445 IPRO, de hábito de crescimento indeterminado e ciclo precoce. A densidade de semeadura foi de 32 sementes m^2 , tratadas com 50 g de fipronil, 45 g de tiofanato metílico e 5 g de piraclostrobina por 100 kg de sementes. A adubação de base foi constituída de $21,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, 86 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 86 kg ha^{-1} de K_2O .

Para a semeadura, foi utilizada a semeadora-adubadora pantográfica MF 407 Plus da marca Massey Ferguson, composta de seis linhas espaçadas em 0,5 m e massa aproximada de 2,3 Mg. Para o tratamento com microcamalhão, optou-se pela semeadora Hyper Plus 6/4 da industrial KF, constituída de seis linhas espaçadas em 0,5 m, três aivecas espaçadas em 1 m e massa de 2,9 Mg. Em ambas as máquinas foi utilizado o disco liso de 0,47 m de diâmetro para o corte da palha, e dosadores de semente do tipo disco alveolado horizontal, com 90 alvéolos de 8 mm de diâmetro. As semeadoras foram tracionadas por um trator agrícola Massey Ferguson 6713R Dyna 4, com 97 kW (132 cv) de potência na tração nominal. A velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado durante a semeadura foi de $5,5 \text{ km h}^{-1}$.

Para determinação das variáveis analisadas, foi realizada a abertura de uma trincheira de dois metros lineares na terceira linha de semeadura de cada unidade experimental (Figura 1). Com o auxílio de uma régua graduada, foi mensurada a profundidade e a distância de deposição entre as sementes. Para a análise de distribuição longitudinal, foi utilizada a metodologia descrita por Kurachi et al. (1989), onde valores menores que 0,5 X o valor de referência foram considerados espaçamentos duplos, maior que 1,5 X espaçamentos falhos e os compreendidos entre 0,5 e 1,5 X como aceitáveis. O coeficiente de variação para distribuição vertical e longitudinal foi calculado através da variação observada entre as sementes da avaliação anterior. O índice de velocidade de emergência foi mensurado pela contagem diária das plantas emergidas em 2 m^2 previamente demarcados na segunda linha de semeadura, segundo metodologia proposta por Maguire (1962).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros). A análise da variância

foi realizada através do teste F, sendo as médias, quando significativas, comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os mecanismos sulcadores não influenciaram os parâmetros relacionados à distribuição longitudinal de sementes, sendo verificados valores médios de 23,9, 69,1 e 8,2% de sementes duplas, aceitáveis e falhas, respectivamente, o que na classificação proposta por Tourino & Klingensteiner (1983), enquadra a qualidade de semeadura na classe regular (entre 50 e 75% de espaçamentos aceitáveis). Resultados semelhantes foram obtidos por Trogello et al. (2013), onde os autores, trabalhando com mecanismos sulcadores, manejo de palhada e velocidade de semeadura, observaram diferença significativa apenas para a última variável citada. Nessa perspectiva, Brandelero et al. (2015) relatam que a qualidade de distribuição longitudinal de sementes é afetada fundamentalmente pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, onde, velocidades superiores a 6 km h^{-1} podem ocasionar menor tempo para o preenchimento dos alvéolos com semente, alterando assim o número de espaçamentos falhos e duplos na linha de semeadura.

Para a distribuição vertical (Tabela 1), pode-se observar que o coeficiente de variação entre as sementes foi superior nos tratamentos com haste sulcadora, apresentando acréscimo médio de 10,5% na desuniformidade de distribuição de sementes (CV) quando comparado ao sistema de disco duplo na deposição do fertilizante. Além disso, a HS a 0,23 m gerou um acréscimo na profundidade máxima de deposição das sementes de 1,6, 2,7 e 2,3 cm quando comparado a HS a 0,13 m, disco duplo (0,07 m) e Micro+HS a 0,12 m, respectivamente. Esses resultados corroboram com os obtidos por Reis et al. (2006), sendo os mesmos atribuídos principalmente ao volume de solo mobilizado. De acordo com Furlani et al. (2011), o tipo de mecanismo sulcador utilizado influencia diretamente a mobilização do solo na linha de semeadura, passando de $57 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no disco duplo para $104 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na haste sulcadora. Em função disso, o disco duplo tende a formar um sulco mais uniforme e, conseqüentemente, possibilita a distribuição mais homogênea das sementes no leito de semeadura.

Deve-se salientar que a uniformidade na deposição de sementes em profundidade é um dos fatores que determinam a obtenção de um adequado estande inicial de plantas na lavoura (SILVA et al., 2008). Em vista disso, o elevado coeficiente de variação entre as sementes pode gerar desuniformidades no processo de germinação e emergência (KARAYEL, 2009). Sementes depositadas em profundidade excessiva podem demorar mais para emergir, gerando plantas com reduzido crescimento inicial e menor habilidade competitiva (BURCE et al., 2013). Além disso, precipitações logo após a semeadura, associada à dificuldade de drenagem

tanto de perfil como de superfície desses solos, podem ocasionar a deterioração das sementes em função da deficiência de oxigênio.

No entanto, no presente estudo não se observou diferença estatística para as variáveis índice de velocidade de emergência e população inicial de plantas. Tais resultados podem ser atribuídos à precipitação acumulada de 19,8 mm (Figura 2) que ocorreu nos três dias que se seguiram à semeadura, a qual associada à umidade do solo na camada de 0-0,05 m ($24 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ou 68% da capacidade de campo) proporcionaram adequado conteúdo de água para o processo germinativo. Gazolla-Neto et al. (2012) ressaltam que teores de umidade do solo entre 65 e 90% da capacidade de campo resultam em valores de emergência de plantas superior a 80%, sendo as sementes sob essas condições menos dependentes da profundidade de deposição, podendo tais resultados diferirem em condições de excesso ou déficit hídrico.

Dessa forma, pode-se concluir que a utilização da haste sulcadora, independentemente da profundidade e da utilização de aivecas, proporciona maior desuniformidade na profundidade de deposição das sementes. Sob disponibilidade hídrica adequada, não há diferença entre os mecanismos sulcadores da semeadora para o estabelecimento inicial de plantas de soja em área de terras baixas sistematizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOTEGGA, E.L.; BRAIDO, R.; PIAZZETA, H.V.L.; NETO, A.M.O.; GUERRA, N. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.19, n.2, p.74-78, 2014. DOI: 10.12661/pap.2014.011.

BRANDELERO, E.M.; ADAMI, P.F.; MODOLO, A.J.; BAESSO, M.M.; FABIAN, A.J. Seeder Performance under Different Speeds and its Relation to Soybean Cultivars Yield. **Journal of Agronomy**, v.14, n.3, p.139-145, 2015. DOI: 10.3923/ja.2015.139.145.

BURCE, M.E.C.; KATAOKA, T.; OKAMOTO, H.; SHIBATA, Y. Seeding depth regulation controlled by independent furrow openers for zero tillage systems. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.6, n.1, p.114-121, 2013. DOI: 10.1016/S1881-8366(13)80012-2.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p. (Boletim técnico).

GAZOLLA-NETO, A.; AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; OLSEN, D.; VILLELA, F.A. Níveis de umidade do solo de várzea e seus efeitos sobre a emergência e crescimento inicial de plântulas de soja. **Abrates**, v.22, n.2, p.28-31, 2012.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; DONATO, G.; SILVA, P.R.F.; KAISER, D.R.; ARAMBURU, B.B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.261-270, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000300008.

KARAYEL, D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. **Soil & Tillage Research**, v.104, p.121-125, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2009.02.001.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F.; REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.725-731, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000500016.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v.48, n.2, p.249-262, 1989. DOI: 10.1590/S0006-87051989000200011.

LEVIN, R.; FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; CONTE, O.; CAVICHIOLIV, F.A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v.41, n.6, p.1003-1010, 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011000600014.

LIMA, C.L.R.; PAULLETO, E.A.; GOMES, A.S.; HARTWIG, M.P.; PASSIANATO, C.C. Compactação de um Planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, n.2, p.179-182, 2006. DOI: 10.18539/CAST.V12I2.4521.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination – aid in selection aid evolution for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MODOLO, A.J.; TROGELLO, E.; NUNES, A.L.; SILVEIRA, J.C.M.; KOLLING, E.M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum**, v.33, n.1, p.89-95, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i1.4236.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.521-529, 2001. DOI: 10.1590/S0100-06832001000300001.

REIS, E.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, H.C.; NAIME, J.M.; ARAÚJO, E.F. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.5, p.777-786, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000500003.

RIBERIO, P.L.; BAMBERG, A.L.; REIS, D.A.; OLIVEIRA, A.C.B. Physico-hydric conditions of an Alfisol cultivated with soybean under no-tillage and conventional tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1484-1491, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900047.

SARTORI, G.M.S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; DONATO, G.; FILHO, A.C.; SILVA, M.F. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.12, p.1139-1149, 2015.

SILVA, R.P.; CORÁ, J.E.; FILHO, A.C.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A. Efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água do solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.929-937, 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000300034.

TOURINO, M.C.C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13., 1983, Seropédica, 1983. **Anais**. Seropédica: SBEA, 1983, p.103-107.

TROGELLO, E.; MODOLO, A.J.; SCARSI, M.; DALLACORT, R. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.19, n.2, p.74-78, 2013. DOI: 10.12661/pap.2014.01.

VERNETTI JUNIOR, F.J.; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1708-1714, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000112.

Tabela 1 - Distribuição longitudinal de sementes (coeficiente de variação (CV), sementes duplas, aceitáveis e falhas), distribuição vertical (CV, profundidade máxima e mínima), índice de velocidade de emergência (IVE) e população inicial de plantas (PIP) de soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.

Tratamentos	Distribuição longitudinal			
	CV	Duplas	Aceitáveis	Falhas
	-----%-----			
Haste Sulcadora (0,23 m)	47,1 ^{ns}	21,1 ^{ns}	71,6 ^{ns}	6,6 ^{ns}
Haste Sulcadora (0,13 m)	57,1	25,2	65,5	9,3
Disco Duplo (0,07 m)	45,5	23,2	75,6	7,4
Microcamalhão+HS ⁽¹⁾ (0,12 m)	52,7	26,1	68,4	9,4
Média	50,6	23,9	69,1	8,2
CV (%)	21,9	35,6	17,0	27,8

Tratamentos	Distribuição vertical			IVE	PIP (pl. m ⁻²)
	CV (%)	P. máxima (cm)	P. mínima (cm)		
Haste Sulcadora (0,23 m)	29,3 a ⁽²⁾	7,3 a	2,4 ^{ns}	14,3 ^{ns}	26,0 ^{ns}
Haste Sulcadora (0,13 m)	22,7 a	5,7 b	2,6	15,2	25,8
Disco Duplo (0,07 m)	15,1 b	4,6 b	2,5	16,9	25,0
Microcamalhão+HS (0,12 m)	24,6 a	5,0 b	2,2	15,3	25,4
Média	22,6	5,6	2,4	15,4	25,5
CV (%)	21,1	13,3	28,8	14,4	10,3

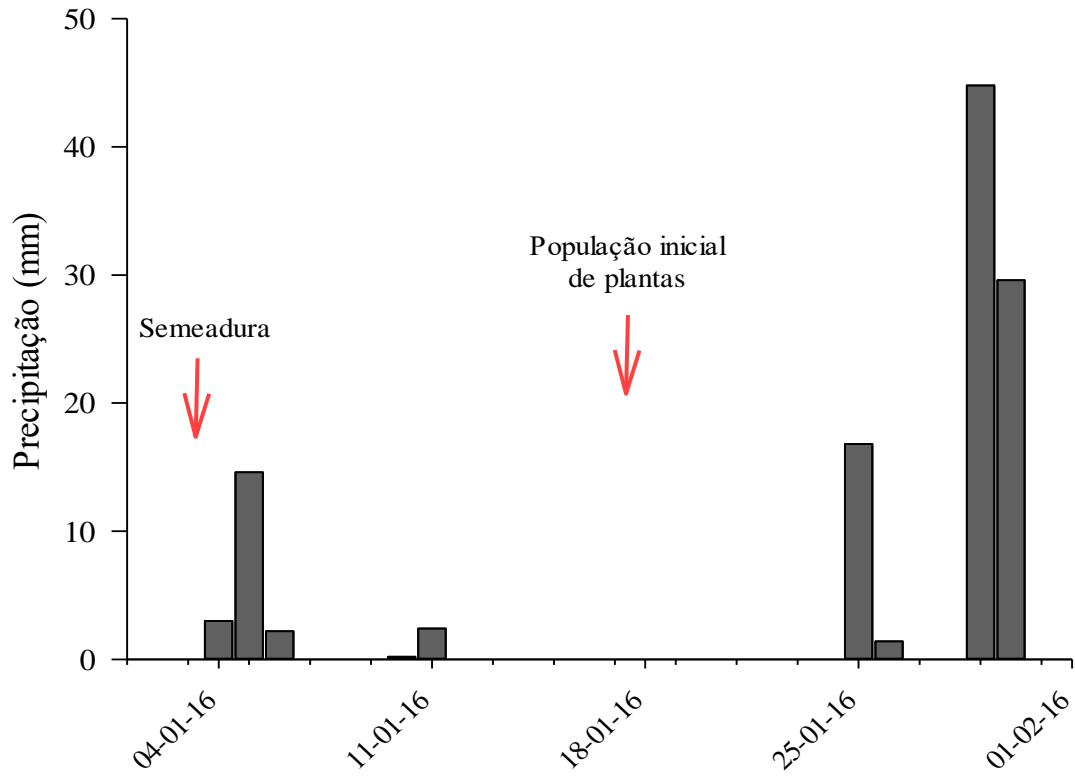
⁽¹⁾ HS- Haste sulcadora ⁽²⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p≤0,05). ^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro.

Figura 1- Distribuição de sementes de soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada: Disco duplo a 0,07 m de profundidade (A) e Haste sulcadora a 0,23 m (B). Santa Maria, RS. 2017.



Foto: COELHO, L.C. (2017).

Figura 2 - Precipitação pluvial diária na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria durante a fase de semeadura e estabelecimento inicial do experimento na safra agrícola 2015/16. Santa Maria, RS. 2017.



4 CAPÍTULO III (Artigo Científico)

MECANISMOS SULCADORES DA SEMEADORA E A IMPLANTAÇÃO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

SEEDING FURROW OPENING MECHANISMS AND SOYBEAN PLANTING IN LOWLAND AREAS

RESUMO

A elevada compactação dos solos cultivados com arroz irrigado, associada à drenagem deficiente, tem sido reportada como um dos principais entraves para a obtenção de elevadas produtividades da cultura da soja nessas áreas. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre características físicas do solo, crescimento de plantas e produtividade de soja em área de terras baixas com presença de camada compactada próxima à superfície. Para isso, foi conduzido um experimento na área de várzea da Universidade Federal de Santa Maria, durante as safras agrícolas 2015/16 e 2016/17. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições e quatro tratamentos, sendo eles: Haste sulcadora (HS) a 0,23 m de profundidade; HS a 0,13 m; Disco duplo a 0,07 m e Microcamalhão+HS a 0,12 m. No solo, foram quantificadas as variáveis densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência mecânica à penetração. Nas plantas, determinou-se a população inicial, a massa seca da parte aérea e de nódulos, o índice de área foliar, parâmetros do sistema radicular (comprimento, área superficial, volume, diâmetro médio e distribuição) e a produtividade de grãos. A utilização da HS a 0,23 m possibilitou o aumento da macroporosidade e a redução da resistência à penetração mecânica do solo nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de profundidade na linha de semeadura. A semeadura com HS a 0,23 m e Microcamalhão+HS a 0,12 m viabilizam melhor desenvolvimento das plantas de soja em área de terras baixas compactada (maior nodulação, índice de área foliar e crescimento radicular), bem como maior produtividade de grãos.

Palavras chave: *Glicine max.* Haste sulcadora. Compactação do solo. Microcamalhão. Planossolo.

ABSTRACT

The high compaction of soils cultivated with irrigated rice, associated with poor drainage, has been reported as one of the main obstacles to obtain high yields of soybean crop in these areas. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of seeder furrow opening mechanisms on soil physical characteristics, plant growth and soybean yield in lowland areas with the presence of compacted layer near the surface. For this, an experiment was conducted in the experimental area of lowland of the Universidade Federal de Santa Maria during the 2015/16 and 2016/17 growing season. The experimental design was a randomized block with five replications and four treatments: Planter using shank (S) at 0,23 m depth; S at 0,13 m; Planter using double disk at 0,07 m depth and Raised-bed + S at 0,12 m depth. In the soil were quantified the variables density, macroporosity, microporosity, total porosity and resistance to mechanical penetration. The initial population, dry mass of shoot and nodules, leaf area index, length, surface area, volume, average diameter and root distribution, and grain yield were determined in the plants. The use of S at 0,23 m depth allows reduction of penetration resistance and increase of soil macroporosity in the layers 0-0,1 and 0.1-0,2 m depth in the seeding line. Sowing with HS at 0,23 m depth and Raised-bed + S at 0.12 m depth allowed a better development of soybean plants in compacted irrigated rice area (higher nodulation, leaf area index and root growth), as well as higher grain yield.

Key Words: *Glicine max.* Shank. Soil compaction. Raised bed. Albaqualf soil.

INTRODUÇÃO

As áreas de várzea no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, compreendem 5,4 milhões de hectares, das quais aproximadamente 3 milhões são compostas pela classe dos Planossolos (BAMBERG et al., 2009). Em função da topografia plana e das características físicas, historicamente esses solos têm sido destinados ao cultivo de arroz irrigado. Contudo, a elevada pressão de plantas daninhas de difícil controle, com ênfase para o arroz vermelho resistente, impôs à cadeia orizícola a necessidade de buscar novas alternativas para manter a rentabilidade do sistema produtivo (MARCHESAN, 2013). A cultura da soja surgiu como alternativa, pois dentre outras vantagens possibilita a utilização de diferentes princípios ativos de herbicidas e, ao mesmo tempo, apresenta maior tolerância a estresses hídricos quando

comparada a outras culturas de sequeiro. Além disso, o valor comercial alcançado nas últimas safras, associado à liquidez do produto final são outros atrativos importantes.

Apesar dos benefícios advindos da inserção da leguminosa nesse ambiente, problemas relacionados às características intrínsecas desses solos tem sido um frequente empecilho ao incremento da produtividade da cultura nessas áreas de rotação com o arroz irrigado, a qual está estagnada próximo a 2000 kg ha⁻¹ (IRGA, 2017). Segundo Bamberg et al. (2009), os solos cultivados com arroz naturalmente apresentam condições físicas desfavoráveis para culturas de sequeiro, pois em sua maioria possuem a formação de um ambiente hidromórfico com severas restrições à drenagem de água no perfil, associados à densidade natural elevada.

De acordo com Moraes et al. (2013), os problemas referentes à estrutura física desses solos ainda são agravados pelo intenso tráfego de máquinas agrícolas pesadas durante as operações de preparo das áreas para o cultivo do arroz. Além disso, em função da dificuldade de drenagem da água proveniente de precipitações, tanto no perfil do solo como em superfície, ocorre nessas áreas curtos períodos de tempo para o trabalho mecanizado. Como consequência, o preparo das áreas frequentemente ocorre fora do intervalo hídrico ótimo, promovendo o agravamento dos problemas de natureza física do solo (KLEIN et al., 2008).

Nesse contexto, as características naturais desses solos, associadas às circunstâncias do preparo mecanizado, geram alterações nos espaços porosos, provocando o fenômeno conhecido como compactação (ALAOUI et al., 2011). Dentre as principais consequências desse processo, pode-se citar a redução da porosidade total (JUNIOR et al., 2016), da continuidade e do tamanho dos espaços porosos (BJÖRKLUND et al., 2016), da capacidade de infiltração de água no perfil do solo (DRESCHER et al., 2017) e o aumento da densidade e da resistência mecânica à penetração (CORTEZ et al., 2014).

Em resposta às alterações na estrutura física do solo, restrições são impostas ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja, pois a capacidade das raízes em explorar o perfil do solo reduz quando a densidade e a resistência à penetração aumentam e a porosidade de aeração diminui (REINERT et al., 2008). Em detrimento a isso, Sartori et al. (2016) citam que mais de 90% do sistema radicular das plantas de soja cultivadas em rotação com arroz se concentra na camada de 0-0,1 m de profundidade, deixando a cultura mais propensa a estresses, principalmente o hídrico, tanto pela falta como por excesso de água. A restrição no crescimento do sistema radicular das plantas, dentre outros parâmetros, pode afetar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (AMARANTE & SODEK, 2006), a assimilação de carbono, a condutância estomática (MADHU et al., 2014), a absorção de água e nutrientes, e consequentemente a produtividade de grãos.

Desse modo, a utilização de ferramentas que possibilitem o rompimento de parte dessa camada compactada são importantes para o adequado desempenho agrônômico da cultura da soja nessas áreas. Dentre as alternativas, pode-se citar a própria semeadora-adubadora como meio de proporcionar melhorias no ambiente radicular das plantas na linha de semeadura. Segundo Sartori et al. (2015), a utilização da haste sulcadora em área de terras baixas compactada possibilita desenvolvimento de planta superior quando comparada aos sistemas de disco duplo e disco ondulado, e que pode ser equiparado à escarificação do solo.

A profundidade de atuação da haste sulcadora também influencia o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, sendo o efeito tão mais pronunciado quanto mais espessa for a camada compactada. Conforme Nunes et al. (2014), a utilização de haste sulcadora a profundidade de 0,17 m foi mais eficiente em mitigar problemas de ordem física e de estratificação química em um Latossolo sob plantio direto, quando comparado à profundidade de 0,05 e 0,1 m. A semeadura sobre microcamalhões associada à haste sulcadora é outra alternativa para o cultivo de soja em áreas baixas, pois permite uma drenagem mais rápida e eficiente, escoando a água proveniente de precipitações e também viabilizando possíveis irrigações em períodos de déficit hídrico (BRUNS & YOUNG, 2012; RAM et al., 2013).

Diante do contexto apresentado, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de mecanismos sulcadores da semeadora sobre características físicas do solo, crescimento de plantas e produtividade de soja em área de terras baixas com presença de camada compactada próxima à superfície.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo nas safras agrícolas de 2015/16 e 2016/17, na Área Didático Experimental de Várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O solo do local é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013). O clima da região enquadra-se na classe “Cfa”, subtropical úmido (MORENO, 1961), com precipitação de média de 1.616 mm ao ano.

A alocação do experimento nas duas safras foi realizada em locais distintos da estação experimental, ambos sistematizados. Na safra 2015/16, o solo apresentava as seguintes características físico-químicas: MO= 2 e 1,3%; argila= 26 e 28%; pH em água (1:1)= 6,1 e 5,1; saturação de bases= 69,9 e 40,8%; saturação por Al= 0 e 1,5%; P-Mehlich= 18,6 e 5,3 mg dm⁻³; K= 64 e 16 mg dm⁻³; Ca= 6,2 e 4,6 cmol_c dm⁻³, Mg= 2,8 e 2,1 cmol_c dm⁻³ nas camadas

de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. Na safra 2016/17, os valores foram: MO= 2,9 e 1,9%; argila= 24 e 26%; pH em água (1:1)= 6,2 e 5,3; saturação de bases= 69,4 e 42,9%; saturação por Al= 0 e 6,5%; P-Mehlich= 11,2 e 6 mg dm⁻³; K= 56 e 16 mg dm⁻³; Ca= 6,3 e 4,1 cmol_c dm⁻³, Mg= 2,4 e 2,1 cmol_c dm⁻³. As áreas apresentavam ainda densidade de partícula= 2,54 Mg m⁻³; capacidade de campo= 0,34 m³ m⁻³ e ponto de murcha permanente= 0,12 m³ m⁻³ na camada de 0-0,2 m de profundidade.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições, sendo as unidades experimentais compostas por seis linhas de semeadura, espaçadas em 0,5 m e 30 m de comprimento, com área útil de 90 m². Os tratamentos foram compostos por mecanismos sulcadores associados à semeadora-adubadora, sendo eles: Haste sulcadora com profundidade de trabalho de 0,23 m (HS 0,23 m); Haste sulcadora a profundidade de 0,13 m (HS 0,13 m); Disco duplo com profundidade de 0,07 m e Microcamalhão+haste sulcadora com profundidade de 0,12 m (Micro+HS 0,12 m).

Para a implantação do experimento, foi utilizada uma semeadora pantográfica da marca Massey Ferguson (MF 407), constituída de seis linhas espaçadas em 0,5 m, disco liso de 0,48 m de diâmetro para o corte da palha e massa aproximada de 2,3 Mg. Para o tratamento com microcamalhão, optou-se pela semeadora pantográfica da Industrial KF (Hyper Plus 6/4), composta de seis linhas espaçadas em 0,5 m, três aivecas espaçadas em 1 m e massa de 2,9 Mg. Os discos duplos desencontrados mediam 0,40 e 0,38 m de diâmetro, as hastes sulcadoras da MF 407 mediam 0,43 m de comprimento, 9,8 mm de largura, ponteiras com largura de 21,3 mm e ângulo de ataque de 14°. A semeadora KF foi equipada com hastes sulcadoras com 0,41 m de comprimento, 13,9 mm de largura, ponteiras com largura de 19,9 mm e ângulo de ataque de 17°, sendo semeadas duas linhas de soja em cada microcamalhão.

A semeadura do experimento foi realizada no dia 4 de janeiro de 2016 (safra 2015/16) e no dia 16 de novembro de 2016 (safra 2016/17). Na primeira safra, foi utilizada a cultivar NS 5445 IPRO e, na segunda, optou-se pela SYN 1562 IPRO, ambas com hábito de crescimento indeterminado. A densidade de semeadura foi de 32 sementes m⁻², sendo as mesmas tratadas com 50 g de fipronil, 45 g de tiofanato metílico e 5 g de piraclostrobina por 100 kg de sementes e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação de base foi constituída de 21,5 kg ha⁻¹ de N, 86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 86 kg ha⁻¹ de K₂O na linha de semeadura. No estádio fenológico V6 (FEHR & CAVINESS, 1977), aplicou-se a lanço mais 30 kg ha⁻¹ de K₂O. Os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA, 2014).

Aos 50 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a determinação das variáveis físicas do solo: densidade (DS), macroporosidade (MA), microporosidade (MI) e porosidade total (PT) na linha de semeadura. Foram coletadas amostras indeformadas nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m de profundidade, utilizando anéis com 0,04 m de altura e 0,048 m de diâmetro, associados à mesa de tensão com 0,6 m de coluna d'água (DONAGEMA et al., 2011). A porosidade total foi calculada pela relação entre densidade do solo e densidade de partícula, enquanto a microporosidade foi determinada pelo conteúdo volumétrico de água a 0,6 m de tensão em mesa de areia. Já a macroporosidade foi considerada como a diferença da porosidade total e da microporosidade.

A resistência mecânica à penetração de raízes foi quantificada aos 70 DAS na primeira safra e aos 58 DAS na segunda. Para a avaliação, foi utilizado um penetrômetro digital da marca Falker (modelo PLG 1020) atingindo a profundidade de 0,3 m, sendo provido de ponta cônica com diâmetro de 12,8 mm. Foram realizadas oito amostragens por unidade experimental, sendo as mesmas dispostas paralelamente à linha de semeadura da soja, duas na entrelinha, uma na linha, duas na entrelinha, uma na linha e mais duas na entrelinha de acordo com metodologia descrita por Giacomeli et al. (2016).

Para avaliar o desempenho agrônômico das plantas, foram determinados nos estádios fenológicos V7 e R5.1 a massa seca da parte aérea, do sistema radicular, dos nódulos e o índice de área foliar. Para tanto, foram coletadas cinco plantas por unidade experimental, através da retirada de um monólito de solo (0,5x0,4x0,25 m de comprimento, largura e profundidade). Em seguida, foi separada a parte aérea do sistema radicular. O índice de área foliar foi determinado pela medição do comprimento e largura de todos os folíolos centrais de cada trifólio das plantas, sendo então estimada pela equação $IAF=2,0185*(C*L)$ proposta por Richter et al. (2014). Para avaliar a massa seca dos nódulos, as raízes foram lavadas em água corrente para a separação do solo. Após, os nódulos e a parte aérea foram secos em estufa de ventilação forçada a 65°C até massa constante, e então pesados em balança de precisão.

O efeito dos mecanismos sulcadores no sistema radicular das plantas foi quantificado através da determinação do comprimento (cm), área superficial (cm²), volume (cm³) e diâmetro médio (mm) das raízes no estágio fenológico R5.1, sendo para isso utilizadas as mesmas plantas das avaliações anteriores. As variáveis citadas foram obtidas através da digitalização do sistema radicular em escâner de alta resolução (Epson Expression 11000 XL) no laboratório de fisiologia vegetal da UFSM (FisioPlant), sendo as imagens processadas no software Winrhizo PRO.

Na segunda safra, também no estágio fenológico R5.1, foi avaliada a distribuição do sistema radicular das plantas através do método do perfil vertical. Para isso, realizou-se a abertura de uma trincheira perpendicular a duas linhas de semeadura, sendo as raízes cuidadosamente expostas com auxílio de água e varetas de metal em um quadro de 1,1x0,35 m, com quadrículas espaçadas 0,05x0,05 m (Figura 5). Posteriormente, foram retiradas fotos com câmera digital e então desenhadas, segundo metodologia proposta por Bohm (1979).

A produtividade de grãos foi determinada através da colheita manual de uma área de 7,5 m². Após a colheita, as amostras foram trilhadas, limpas, pesadas e corrigidas para 13% de umidade, sendo os dados transformados para kg ha⁻¹. O número de legumes foi determinado pela coleta de 10 plantas em sequência na segunda linha de semeadura de cada unidade experimental.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros). A análise da variância foi realizada através do teste F. As médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade do erro com auxílio do programa SISVAR. Para as variáveis físicas do solo (densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total), foi determinado o intervalo de confiança a 5% de probabilidade do erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função do histórico de compactação das áreas, houve influência dos mecanismos sulcadores nos parâmetros físicos do solo (Figuras 1, 2 e 3). Na camada de 0-0,1 m de profundidade, os sistemas com utilização da haste sulcadora na deposição do fertilizante proporcionaram o incremento de 36% na MA quando comparado ao disco duplo na segunda safra. Os demais parâmetros, DS, MI e PT não foram afetados significativamente pelos tratamentos. Nesse sentido, Beutler et al. (2012) citam que a constante mobilização do solo para o cultivo do arroz proporciona menor tendência a compactação na camada mais superficial, fazendo com que se observe pouca influência de manejos mecânicos nos parâmetros físicos do solo. Além disso, as maiores concentrações de matéria orgânica, associada aos frequentes ciclos de umedecimento e secagem, possibilitam maior resiliência aos processos de desestruturação do solo nessa camada (GUBIANI et al., 2015).

Por outro lado, a utilização da HS a 0,23 m, por possibilitar maior mobilização do solo na camada de 0,1-0,2 m de profundidade, resultou na redução da DS, apresentando valores de 1,47 e 1,42 Mg m⁻³ para as safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente, o que na média foram

9% inferiores aos 1,57 e 1,60 Mg m⁻³ observados no sistema com disco duplo. A MA e PT também foram influenciadas pelos mecanismos sulcadores. Na MA, a HS a 0,23 m proporcionou incremento médio de 41%, quando comparada aos dos demais tratamentos (disco duplo, HS a 0,13 m e Micro+HS a 0,12 m). Resultados semelhantes são descritos por Drescher et al. (2017), onde a HS a 0,15 m resultou em maior PT e MA na camada de 0,07-0,15 m em um Latossolo compactado, quando comparado ao disco duplo e HS a 0,1 m. Em relação a MI, não se verificou influência dos tratamentos em nenhuma das camadas analisadas, apresentando valor médio de 0,34 m³m⁻³. Esse resultado é esperado, visto que essa propriedade é diretamente dependente da textura do solo, sendo pouco influenciada pelo manejo antrópico (SILVA & KAY, 1997).

Na camada mais profunda, de 0,2-0,3 m, não se observou diferença significativa para as variáveis analisadas. Estes resultados devem-se ao fato de nenhum dos tratamentos testados ter possibilitado a atuação dos mecanismos sulcadores nessa camada em sua plenitude. Os valores médios nos dois anos de estudo foram de 1,59 Mg m⁻³, 0,38, 0,33 e 0,05 m³ m⁻³ para DS, PT, MI e MA, respectivamente.

A resistência à penetração de raízes foi determinada quando o solo estava com umidade volumétrica de 0,29 e 0,24 m³m⁻³ na camada de 0-0,3 m nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente. Conforme visualizado na Figura 3, as áreas de condução do experimento apresentaram resistência à penetração superior a 2 MPa a 0,08 m de profundidade na primeira safra e 0,05 m na segunda. Em função disso, a HS a 0,23 m foi a mais eficiente na descompactação do solo na linha de semeadura, onde até a profundidade de 0,2 m a resistência à penetração não superou 1 MPa. Para o tratamento com HS a 0,13 m, se observa a mesma tendência, com redução da compactação até a profundidade de atuação do mecanismo (Figura 1B e 1F). Em contrapartida, o disco duplo praticamente não alterou a estrutura original do solo, não sendo eficiente na mitigação de problemas de ordem física na linha de semeadura.

A magnitude dos benefícios advindos da utilização de sulcadores no rompimento da camada compactada é dependente de diversos fatores, entre eles as características intrínsecas do solo, o tipo de mecanismo utilizado e principalmente a profundidade de atuação do mesmo (DRESCHER et al., 2017), visto que a mobilização do solo em profundidade possibilita a redução da densidade, fator esse que, juntamente com a umidade, determinam o grau da resistência mecânica à penetração de raízes.

Assim como variáveis analisadas no solo, o sistema radicular das plantas também foi influenciado pelos tratamentos em ambas as safras (Tabela 1). O disco duplo ocasionou a

redução da massa seca de raízes em 36 e 23% nos estádios fenológicos V7 e R5.1, quando comparado a média dos tratamentos com HS a 0,23 m e Micro+HS a 0,12 m. A mesma tendência foi verificada para os dados obtidos pelo software Winrhizo (Tabela 2) onde, no estádio R5.1, a redução foi de 45, 42 e 36% para comprimento, área superficial e volume de raízes, respectivamente. O diâmetro médio das raízes, por outro lado, sofreu incremento de 10% no tratamento com disco duplo.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Sartori et al. (2016), onde a utilização do disco duplo gerou redução significativa no desenvolvimento de raízes quando comparado a sistemas que possibilitaram maior mobilização do solo. Nesse sentido, pode-se observar que o desenvolvimento radicular foi diretamente proporcional à capacidade de cada mecanismo sulcador em romper a camada compactada do solo, e/ou possibilitar uma drenagem mais eficiente na zona de maior crescimento das raízes.

A compactação do solo exerce marcantes alterações tanto na morfologia quanto no crescimento do sistema radicular das plantas de soja (RAMOS et al., 2010). Reinert et al. (2008) citam que a capacidade das raízes em explorar o perfil do solo reduz quando a resistência à penetração e a densidade aumentam, dado que, o alongamento radicular é dependente da pressão hidrostática (turgor) no interior da raiz, sendo necessário que a mesma seja superior à pressão exercida pelo solo para que haja expansão (HAMZA & ANDERSON, 2005). Dessa forma, valores de resistência à penetração superiores a 2 MPa são considerados limitantes ao adequado desenvolvimento de raízes (LIMA et al., 2010), bem como densidades acima de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ em função do teor de argila do solo (REICHETER et al., 2009), valores esses já encontrados a partir de 0,1 m profundidade no disco duplo. Além disso, com exceção da HS a 0,23 m, se verificou que na camada de 0,1-0,2 m, a MA do solo esteve sempre abaixo de $0,1 \text{ m}^3\text{m}^3$. Segundo Kaiser et al. (2009), valores abaixo desse ponto crítico são considerados restritivos ao crescimento de raízes, uma vez que, esse parâmetro está diretamente relacionado à difusão de oxigênio e CO_2 no solo, determinando assim a capacidade de aeração do mesmo.

Com relação à distribuição do sistema radicular das plantas, constatou-se que a mesma coincidiu com a área de mobilização do solo em cada um dos mecanismos sulcadores, seguindo assim o caminho de menor resistência. Conforme se observa na Figura 5, a HS a 0,23 m viabilizou o crescimento de raízes a profundidade superior a 0,2 m, já quando se utilizou o disco duplo, o sistema radicular ficou concentrado na camada de 0-0,1 m. Resultados semelhantes são relatados por Giacomeli et al. (2016) para a cultura do milho, onde a utilização da haste sulcadora possibilitou o aprofundamento do sistema radicular das

plantas até 0,25 m em área de terras baixas. Com relação ao Micro+HS a 0,12 m, em função da maior mobilização do solo pelas aivecas na camada de 0-0,15 m de profundidade, a qual associada à drenagem mais eficiente viabilizou uma melhor distribuição do sistema radicular das plantas, ficando assim, menos dependente da fissura ocasionada pela haste sulcadora.

A população inicial de plantas foi semelhante entre os tratamentos, sendo estabelecidas na primeira safra 25,5 e na segunda 26,5 plantas m⁻². Para a massa seca da parte aérea, os tratamentos com HS a 0,23 m e Micro+HS a 0,12 m apresentaram os maiores valores nos estádios fenológicos V7 e R5.1 nas duas safras analisadas, não diferindo estatisticamente da HS a 0,13 m no primeiro ano. Além disso, a menor massa seca de nódulos foi verificada no disco duplo em todas as avaliações realizadas, onde no estágio R5.1, a redução chegou a 65% quando comparado ao Micro+HS a 0,12 m. Para o índice de área foliar, observou-se a mesma tendência da variável massa seca de nódulos.

Esses resultados são reflexos da capacidade de cada mecanismo sulcador em atenuar os prejuízos da compactação do solo sobre as plantas. Segundo Beutler et al. (2012), o impedimento físico ao crescimento de raízes, associado à aeração deficiente resultam na redução da capacidade de absorção de água e nutrientes. A restrição ao crescimento do sistema radicular provoca ainda o aumento da produção de ácido abscísico (ABA) nas raízes, o qual, quando exportado para a parte aérea das plantas, é responsável pela redução da condutância estomática, da capacidade fotossintética e, conseqüentemente, da expansão foliar (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Além disso, a nodulação também pode ser afetada pela reduzida difusão de O₂ em solos com baixa macroporosidade e dificuldade de drenagem. Esse fato deve-se ao processo chave de redução do nitrogênio atmosférico a nitrato ser catalisado pela enzima nitrato redutase, a qual é extremamente sensível a baixos níveis de O₂ no solo (AMARANTE & SODEK, 2006). A fixação biológica de nitrogênio é um processo metabólico de alta demanda energética, sendo necessários 16 ATPs para a redução completa de uma molécula de N₂ a NH₃ (TAIZ & ZEIGER, 2013), podendo mais de 25% dos fotoassimilados produzidos pelas plantas serem utilizados no processo (MINCHIN et al., 1981). Assim, a concentração de O₂ em níveis adequados na zona do bacteroide é fundamental para manutenção da respiração celular e, por fim, da disponibilidade de energia para o processo.

A melhoria nos atributos físicos do solo e conseqüentemente no desenvolvimento de plantas se refletiu na produtividade de grãos. Os tratamentos HS a 0,23 m e Micro+HS a 0,12 m apresentaram os maiores rendimentos nas duas safras analisadas, não diferindo estatisticamente ente si. Na primeira, a utilização do disco duplo e da HS a 0,13 m resultaram

na redução de 485 e 279 kg ha⁻¹, respectivamente, quando comparados à média dos tratamentos com maior produtividade. Na safra 2016/17, se observa a mesma tendência, porém, com reduções maiores, chegando a 972 e 470 kg ha⁻¹. A maior produtividade média (4093 kg ha⁻¹) verificada na safra 2016/17 pode ser explicada pela data de semeadura onde, no primeiro ano, a mesma foi realizada fora da época preferencial (04/01/2016), resultando em perda do potencial produtivo.

De maneira geral, pode-se observar que as limitações físicas do solo prejudicaram o desenvolvimento das plantas de soja. A utilização da HS a 0,23 m, por reduzir os efeitos da compactação na linha de semeadura, possibilitou maior crescimento do sistema radicular das plantas, o qual é responsável direto pela superação dos frequentes períodos de estresse hídrico que ocorrem nessas áreas. Como consequência, esse tratamento viabilizou maior IAF e MSN, fatores esses considerados cruciais na obtenção de elevadas produtividades. Além disso, ambas as safras analisadas apresentaram precipitação pluvial elevada durante o desenvolvimento da cultura (Figura 4A e 4B), com 562 mm na safra 2015/16 e 918 mm na 2016/17. Nessa perspectiva, o microcamalhão possibilitou uma drenagem mais rápida e eficiente da área em função da construção dos “microdrenos”. Consequentemente, as plantas ficaram expostas por menores períodos de tempo aos efeitos adversos da anaerobiose do solo.

Cabe ressaltar também que os efeitos da compactação podem ser mais ou menos proeminentes conforme a disponibilidade de água no solo. Nesse sentido, o estudo foi conduzido em anos onde praticamente não se verificou grandes períodos de déficit hídrico, podendo a magnitude dos efeitos observados serem ainda mais acentuados em anos com menor precipitação.

CONCLUSÕES

A utilização de haste sulcadora a 0,23 m de profundidade, proporciona o aumento da macroporosidade e a redução da resistência mecânica à penetração do solo na linha de semeadura, na camada de 0-0,2 m.

A semeadura com haste sulcadora a 0,23 m e microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m possibilita maior produtividade de grãos da soja em área terras baixas com camada compactada próxima à superfície do solo.

REFEREÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H.H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. **Soil and Tillage Research**, v.115, p.1-15, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2011.06.002.
- AMARANTE, L. & SODEK, L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. **Biologia Plantarum**, n.50, v.3, p.405-410, 2006. DOI: 10.1007/s10535-006-0057-654.
- BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R.; SILVA, T.R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.33, p.1079-1086, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500001.
- BEUTLER, A.N.; MUNARETO, J.D.; RAMÃO, C.J.; GALON, L.; DIAS, N.P.; POZZEBON, B.C.; RODRIGUES, L.A.T.; MUNARETO, G.S.; GIACOMELI, R.; RAMOS, P.V. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1601-1607, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000500024.
- BJÖRKLUNDA, M.M.; ARVIDSSONA, J.; KELLERA, B.; KOESTELA, J.; LAMANDÉC, M.; LARSBOA, M.; JARVISA, N. Effects of subsoil compaction on hydraulic properties and preferential flow in a Swedish clay soil. **Soil & Tillage Research**, v.156, p.91-98, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2015.09.013.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188p.
- BRUNS, H.A. & YOUNG, L.D. Raised seedbeds for soybean in twin rows increase yields over flat seedbeds. **Crop Management**, v.11, n.1, 2012. DOI: 10.1094/CM-2012-0712-01-RS.
- CORTEZ, J.W.; OLSZEWSKI, N.; PIMENTA, W.A.; FILHO, A.P.P.; SOUZA, E.B.; NAGAHAMA, H.J. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um argissolo amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.3, p.1000-1010, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000300032.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- DRESCHER, M.S.; REINERT, D.J.; DENARDIN, J.E.; GUBIANI, P.I.; FAGANELLO, A.; SILVA, B.R.; ZARDIN, M.C. Fertilizer shanks to promote soil decompaction in the seeding operation. **Ciência Rural**, v.47, n.2, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160026.
- 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, 2014. 142p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p. (Boletim técnico).

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

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; DONATO, G.; SILVA, P.R.F.; KAISER, D.R.; ARAMBURU, B.A. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.261-270, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000300008.

GUBIANI, P.I.; LIER, Q.J.; DRESCHER, M.S.; MEZZOMO, H.C.; VEIGA, C.M.C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.100-108, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20150317.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005. DOI: 10.1016/j.still.2004.08.009.

IRGA. Instituto Rio Grandense de Arroz. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/6628/projeto-soja-6.000>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

JUNIOR, M.A.D.; NAGAHAMA, H.J.; OLSZESKI, N.; CORTEZ, J.W.; SOUZA, E.B. Influência de implementos de preparo e de níveis de compactação sobre atributos físicos do solo e aspectos agrônômicos da cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.2, p.367-376, 2016. DOI: 10.1590/1809-4430.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000400009.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FAVERO, F. Porosidade e aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.365-371, 2008. ISSN 0103-8478.

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p.89-98, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000100012.

MADHU, M. & HATFIELD, J.L. Interaction of carbon dioxide enrichment and soil moisture on photosynthesis, transpiration, and water use efficiency of soybean. **Agricultural Sciences**, n.5, p.410-429, 2014. DOI: 10.4236/as.2014.55043.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**. Anais... Santa Maria: SOSBAI, v.2, p.1628-1637, 2013.

MINCHIN, F.R.; SUMMERFIELD, R.J.; HADLEY, P.; ROBERTS, E.H.; RAWSTHORNE, S. Carbon and nitrogen nutrition of nodulated roots of grain legumes. **Plant, Cell and Environmental**, v.4, p.4-26, 1981. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1981.tb00831.x.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, p.748-757, 2013. DOI: 10.1590/S0100-69162013000400014.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1961. 41p.

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.

RAM, Y.S.; SAINI, K.S.; KLER, D.S.; TIMSINA, J. Tillage and planting methods effects on yield, water use efficiency and profitability of soybean–wheat system on a loamy sand soil by hari. **Experimental Agriculture**, v.49, n.4, p.524-542, 2013. DOI: 10.1017/s0014479713000264.

RAMOS, J.C.; IMHOFF, S.D.C.; PILATTIA, M.A.; VEGETTI, A.C. Morphological characteristics of soybean root apexes as indicators of soil compaction. **Scientia Agrícola**, v.67, n.6, p.707-712, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000600013.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.07.002.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500002.

RICHTER, G.L.; JUNIOR, A.A.; STRECK, N.A.; GUEDES, J.V.C.; KRAULICH, B.; ROCHA, T.S.M.; WINK, J.E.M., CERA, J.C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v.73, n.4, p.416-425, 2014. DOI: 10.1590/1678-4499.0179.

SARTORI, G.M.S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; DONATO, G.; COELHO, L.L.; AIRES, N.P.A.; ARAMBURU, B.B. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p.53-60, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20150676.

SARTORI, G.M.S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; NICOLOSO, F.T.; SCHORRM R.W.; FILHO, A.C.; DONATO, G. Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas. **Ciência Rural**, v.46, n.9, p.1572-1578, 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20151579.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.877-883, 1997. DOI:10.2136/sssaj1997.03615995006100030023

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

Figura 1 - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo na linha de semeadura da soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Safra 2015/16. Santa Maria, RS. 2017. * Linha tracejada determina o limite crítico para as variáveis densidade (REICHERT et al., 2009) e macroporosidade do solo (KAISER et al., 2009).

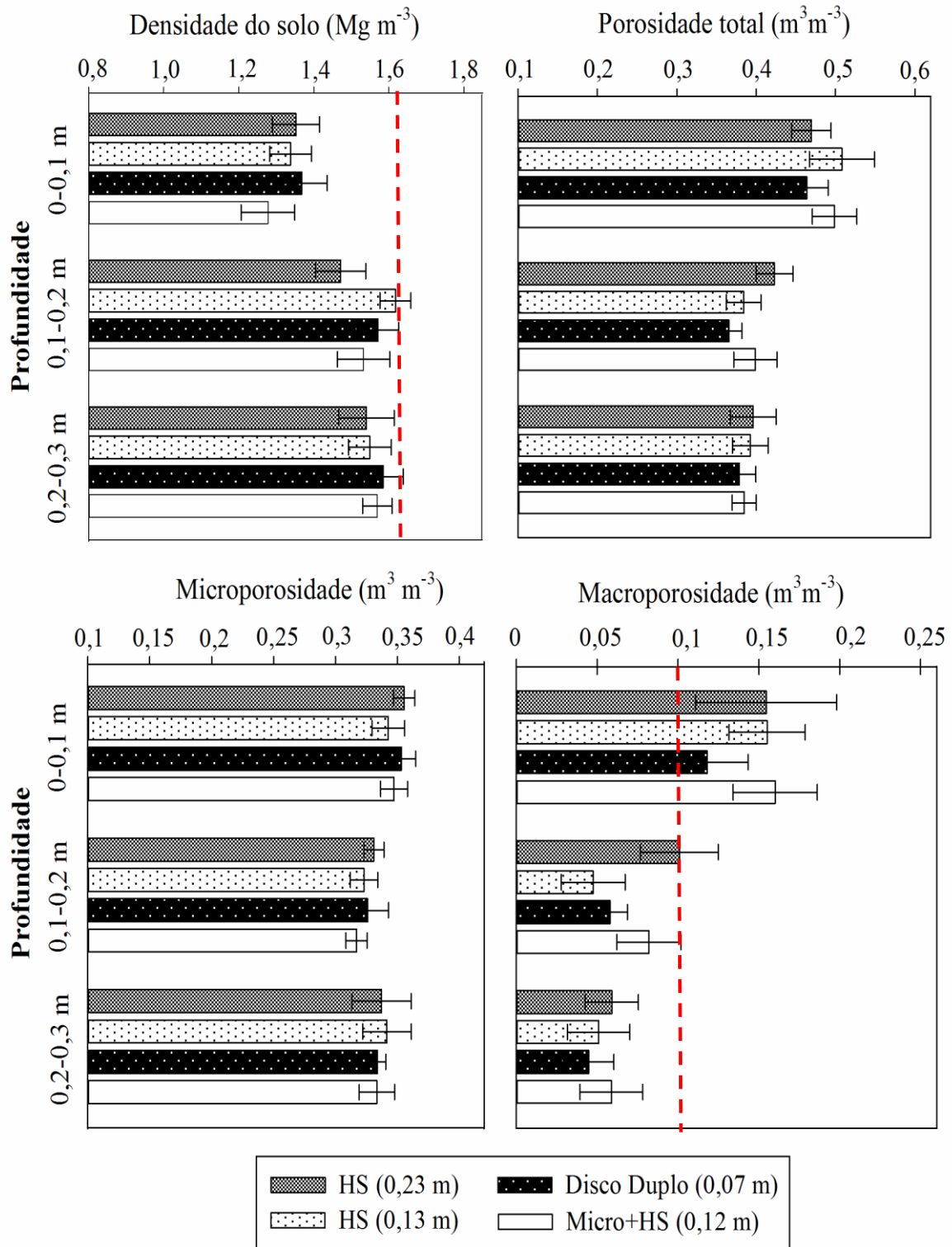


Figura 2 - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo na linha de semeadura da soja em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Safra 2016/17. Santa Maria, RS. 2017. * Linha tracejada determina o limite crítico para as variáveis densidade (REICHERT et al., 2009) e macroporosidade do solo (KAISER et al., 2009).

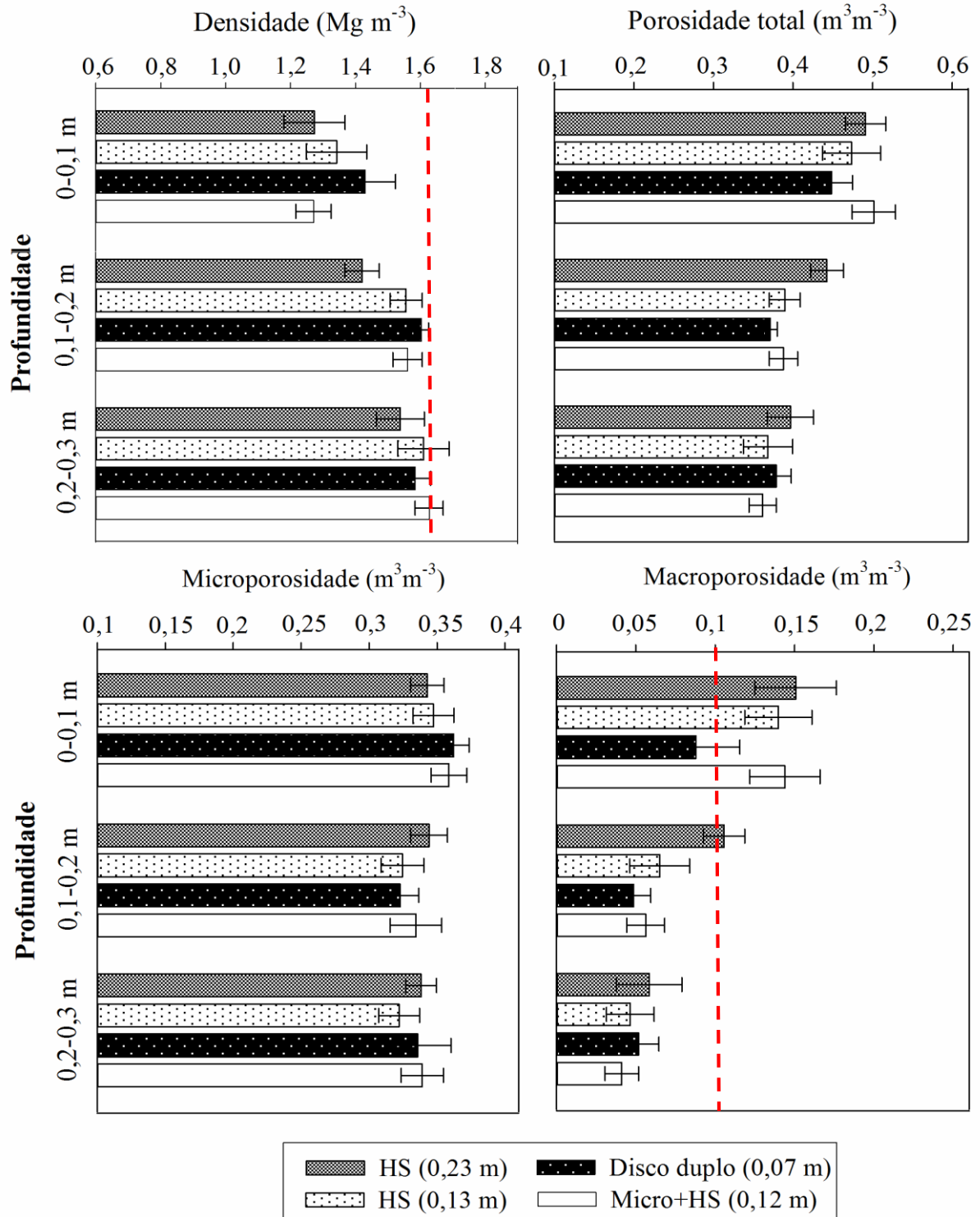


Figura 3 - Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica em semeadura com haste sulcadora a 0,23 m (A e E), haste sulcadora a 0,13 m (B e F), disco duplo a 0,07 m (C e G) e microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m (D e H) em área de terras baixas compactada. Umidade volumétrica na camada de 0-0,3 m de 0,29 e 0,24 m^3m^{-3} para as safras agrícolas 2015/16 (A, B, C e D) e 2016/17 (E, F, G e H) respectivamente. Santa Maria, RS. 2017.

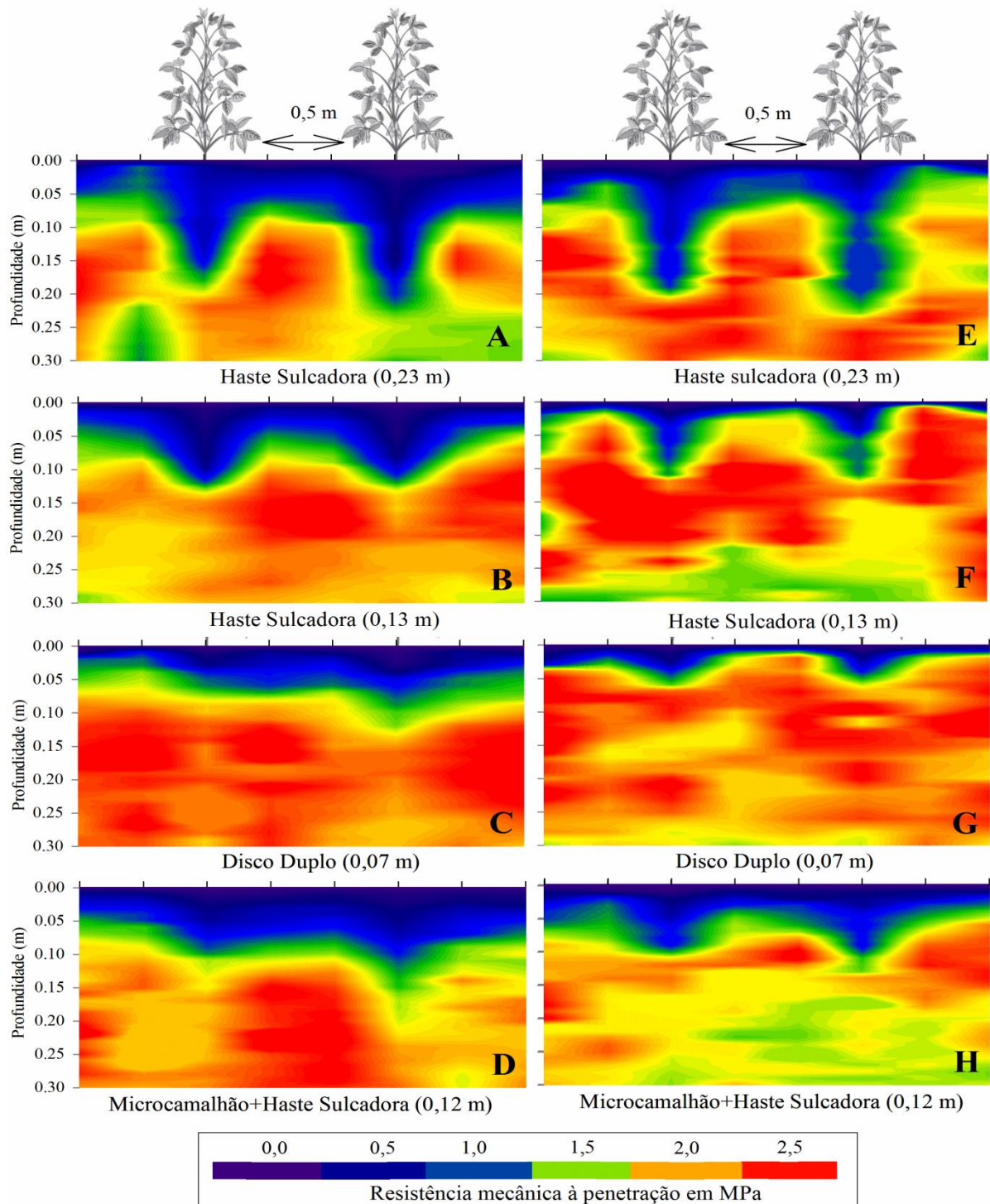


Figura 4 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar nas safras agrícolas 2015/16 (A) e 2016/17 (B), na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2017

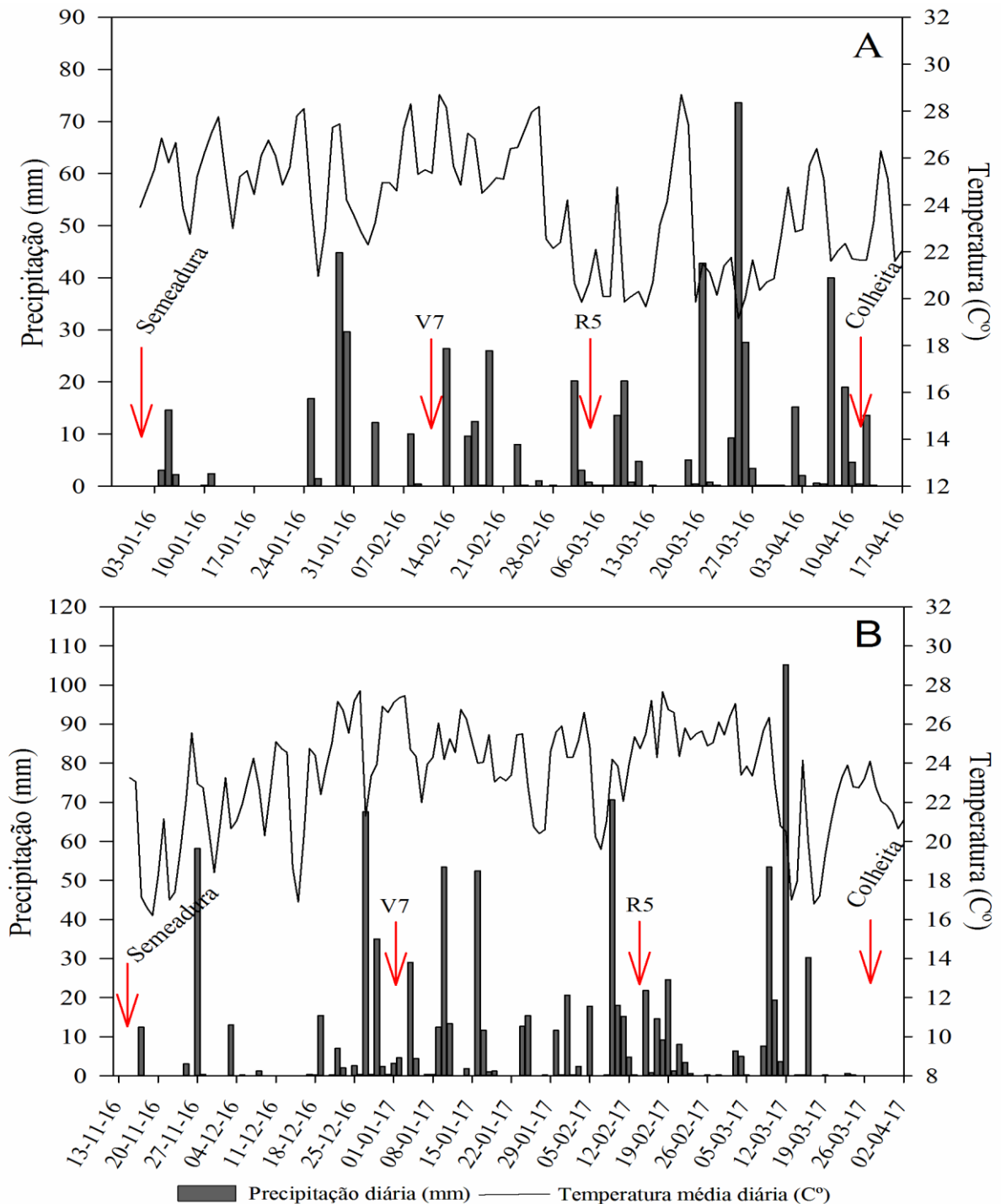


Tabela 1 - População inicial de plantas (PIP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) nos estádios fenológicos V7 e R5.1, em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.

Tratamentos	Safra 2015/16				
	PIP (plantas m ⁻²)	MSPA (g planta ⁻¹)		MSR (g planta ⁻¹)	
		V7	R5.1	V7	R5.1
HS (0,23 m)	26,0 ^{ns}	6,9 a ⁽¹⁾	17 a	1,6 a	3,1 a
HS (0,13 m)	25,8	6,4 a	16,1 a	1,5 a	2,9 b
Disco Duplo (0,07 m)	25,0	3,8 b	12,1 b	1,0 b	2,5 b
Micro+HS (0,12 m)	25,4	7,6 a	18,9 a	1,7 a	3,5 a
Média	25,5	6,2	16,0	1,5	3,0
CV (%)	10,3	14,6	11,3	9,5	12,9
Tratamentos	Safra 2016/17				
	PIP (plantas m ⁻²)	MSPA (g planta ⁻¹)		MSR (g planta ⁻¹)	
		V7	R5.1	V7	R5.1
HS (0,23 m)	26,7 ^{ns}	7,4 a	27,6 a	1,8 a	5,2 a
HS (0,13 m)	26,1	6,0 a	20,1 b	1,4 b	4,3 b
Disco Duplo (0,07 m)	27,8	4,7 b	15,9 b	1,3 b	4,2 b
Micro+HS (0,12 m)	25,5	6,8 a	25,7 a	1,9 a	5,8 a
Média	26,5	6,2	22,3	1,6	4,9
CV (%)	6,2	13,0	17,6	9,5	15,5

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro. ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). (HS 0,23 m) haste sulcadora a 0,23 m de profundidade; (HS 0,13 m) haste sulcadora a 0,13 m de profundidade; (Micro+HS 0,12 m) microcamalhão associado a haste sulcadora a profundidade de 0,12 m.

Tabela 2 - Comprimento (C), área superficial (AS), volume relativo (VR) e diâmetro médio (DM) das raízes de soja no estágio fenológico R5.1, em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.

Tratamentos	Safra 2015/16			
	C (cm)	AS (cm ²)	VR (cm ³)	DM (mm)
HS (0,23 m)	2903 a ⁽¹⁾	431,9 b	5,19 b	0,472 c
HS (0,13 m)	2484 b	393,2 b	5,03 b	0,506 b
Disco Duplo (0,07 m)	1382 c	242,3 c	3,42 c	0,558 a
Micro+HS (0,12 m)	3212 a	502 a	6,44 a	0,498 b
Média	2495,2	392,4	5,02	0,509
CV (%)	10,8	13,4	11,6	3,4
Tratamentos	Safra 2016/17			
	C (cm)	AS (cm ²)	VR (cm ³)	DM (mm)
HS (0,23 m)	3036 a	349,2 a	3,21 b	0,366 ^{ns}
HS (0,13 m)	2519 b	305,7 b	3,03 b	0,390
Disco Duplo (0,07 m)	2010 b	241,5 b	2,54 c	0,382
Micro+HS (0,12 m)	3175 a	373,8 a	3,82 a	0,378
Média	2684,8	317,6	3,15	0,379
CV (%)	19,6	14,9	8,9	4,7

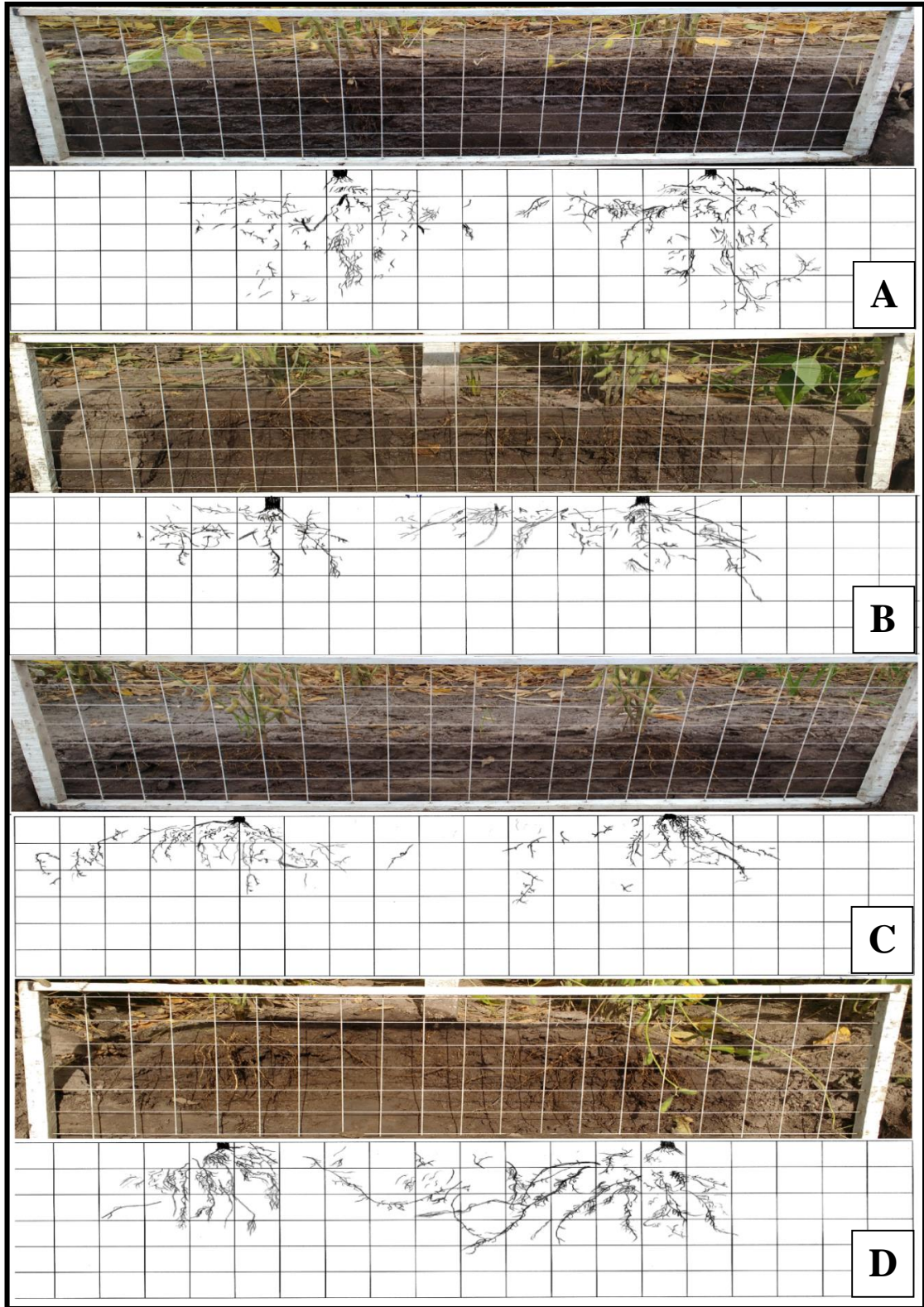
^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro; ⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). (HS 0,23 m) haste sulcadora a 0,23 m de profundidade; (HS 0,13 m) haste sulcadora a 0,13 m de profundidade; (Micro+HS 0,12 m) microcamalhão associado a haste sulcadora a profundidade de 0,12 m.

Tabela 3 - Índice de área foliar (IAF) e massa seca de nódulos (MSN) nos estádios fenológicos V7 e R5.1, número de vagens por planta (NVP) e produtividade de grãos em função da utilização de mecanismos sulcadores da semeadora em área de terras baixas compactada. Santa Maria, RS. 2017.

Tratamentos	Safra 2015/16					
	IAF (m ² m ⁻²)		MSN (g planta ⁻¹)		NVP	Prod. (kg ha ⁻¹)
	V7	R5.1	V7	R5.1		
HS (0,23 m)	2,37 a ⁽¹⁾	4,11 a	0,241 a	0,789 a	38,8 a	3440 a
HS (0,13 m)	2,16 a	3,80 a	0,239 a	0,800 a	34,6 b	3197 b
Disco Duplo (0,07 m)	1,36 b	2,70 b	0,123 b	0,562 b	31,2 b	2991 b
Micro+HS (0,12 m)	2,49 a	4,19 a	0,200 a	0,854 a	38,6 a	3513 a
Média	2,09	3,70	0,201	0,751	35,8	3285
CV (%)	9,1	14,5	21,1	10,2	10,2	6,4
Tratamentos	Safra 2016/17					
	IAF (m ² m ⁻²)		MSN (g planta ⁻¹)		NVP	Prod. (kg ha ⁻¹)
	V7	R5.1	V7	R5.1		
HS (0,23 m)	2,73 a	6,18 a	0,288 a	1,401 a	54,1 a	4563 a
HS (0,13 m)	1,79 b	4,48 b	0,215 b	0,983 b	43,1 b	3976 b
Disco Duplo (0,07 m)	1,52 b	4,07 b	0,137 c	0,946 b	43,1 b	3504 c
Micro+HS (0,12 m)	2,11 b	5,76 a	0,203 b	1,472 a	59,6 a	4329 a
Média	2,04	5,12	0,211	1,20	50,0	4093
CV (%)	17,4	16,7	16,2	14,0	8,9	6,1

⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). (HS 0,23 m) haste sulcadora a 0,23 m de profundidade; (HS 0,13 m) haste sulcadora a 0,13 m de profundidade; (Micro+HS 0,12 m) microcamalhão associado a haste sulcadora a profundidade de 0,12 m.

Figura 5 - Distribuição do sistema radicular da soja em função do mecanismo sulcador da semeadora: Haste sulcadora a 0,23 m de profundidade (A); Haste sulcadora a 0,13 m (B); Disco duplo a 0,07 m (C) e Microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m (D) na safra agrícola 2016/17. Malha de 0,05x0,05 m. Santa Maria, RS. 2017.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo da soja no sistema de rotação com o arroz irrigado representa uma importante oportunidade para os produtores dessas áreas. Sob o ponto de vista de controle de plantas daninhas, significa a possibilidade reverter para o sistema produtivo áreas infestadas com arroz vermelho resistente. Com relação à renda, surge como opção de aumento do fluxo de caixa, oportunizando a comercialização do produto com melhor preço (arroz ou soja), maximizando o lucro.

Contudo, diversos são os desafios para que se possa produzir soja de forma rentável nesse ambiente. O primeiro ponto a ser observado refere-se à escolha da área, a qual deve ser feita de modo a proporcionar os menores riscos possíveis, principalmente com relação ao alagamento por período excessivo. O passo seguinte refere-se à identificação da presença ou não de camada compactada, bem como, em qual profundidade e espessura da mesma, pois esses dados irão fornecer o embasamento necessário para a tomada de decisão em relação ao manejo. Na sequência, em uma agricultura de alta competitividade, torna-se cada vez mais imprescindível aproveitar todas as possibilidades de produzir renda na propriedade rural, a exemplo do período de entressafra, o qual nessas áreas típicas de cultivo de arroz ainda é incipiente.

Nesse contexto, trabalhou-se com a possibilidade de inserir uma planta de cobertura no outono-inverno (Capítulo I), tentando assim preencher o período de vazio econômico que naturalmente ocorre nessas áreas, bem como, buscando manejos que proporcionem ao solo maior proteção física contra a degradação. Para tal propósito, optou-se pelo azevém, principalmente em função de sua melhor adaptabilidade às características desses solos. Pode-se observar que a cultura tem uma elevada capacidade de produção de massa nessas áreas, chegando a produzir mais de 8 Mg ha⁻¹ de feno, sendo assim uma importante alternativa para gerar renda. Por outro lado, cabe ressaltar que, independentemente do manejo e da época, houve prejuízos no estabelecimento inicial de plantas e na produtividade da soja em sucessão. Assim, sua utilização deve ser feita com cautela, em função da maior retenção de umidade no solo, podendo a mesma prejudicar a época de semeadura e a qualidade do processo de deposição de sementes e fechamento dos sulcos. Para isso, o produtor deve analisar parâmetros como capacidade de drenagem da área, quantidade e qualidade da palhada no momento do manejo, previsão climática para a safra, dimensionamento de máquinas e plantabilidade pela semeadora disponível sob condições de solo úmido.

Com relação aos mecanismos sulcadores (Capítulo II), não se verificou efeito dos mesmos sobre o estabelecimento inicial de plantas, fator esse frequentemente citado como empecilho a adesão da haste sulcadora por parte dos produtores rurais. Porém, cabe ressaltar que a qualidade de distribuição de sementes em profundidade foi prejudicada quando a haste foi utilizada, sendo necessários mais estudos em função do ano analisado ter proporcionado umidade adequada para germinação e emergência. Nas plantas (Capítulo III), a compactação do solo exerceu severas restrições ao adequado crescimento das mesmas. A elevada resistência mecânica à penetração (>2 MPa), associada a reduzida macroporosidade ($<10\%$) já na camada de 0,1-0,2 m, foram fatores restritivos ao adequado desenvolvimento do sistema radicular das plantas, o qual pode ser observado no disco duplo, no qual não houve alteração da estrutura original do solo nessa camada.

Em função disso, a utilização da haste sulcadora a 0,23 m, por romper parte dessa camada compactada, proporcionou melhorias consideráveis em parâmetros fundamentais quando se pensa em produtividade de grãos, a exemplo da nodulação, área foliar e crescimento de raízes, com ênfase para a profundidade das mesmas. A utilização da haste sulcadora associada ao microcamalhão mostrou-se outra boa opção para essas áreas com pequena declividade, pois permite maior velocidade de escoamento da água provinda de precipitações, diminuindo assim o período de estresse por falta de oxigênio no solo.

Dessa forma, não se pode pensar em produzir soja de alto rendimento em áreas típicas de arroz irrigado sem maximizar a drenagem e romper pelo menos parte da camada compactada do solo. Essas são as melhorias essenciais para que se possa reduzir ao máximo os períodos de tempo em que as plantas ficam expostas ao estresse hídrico, tanto pela falta como pelo excesso de água. Somente assim se poderá viabilizar o cultivo financeiramente rentável da leguminosa nessas áreas, levando em consideração os preços históricos da commodity, e não apenas os obtidos nas últimas safras.

Como ponto final de reflexão, cabe lembrar que o planejamento prévio da propriedade para receber essas culturas alternativas é primordial para o sucesso desse sistema de rotação e/ou sucessão. Entretanto, o aprimoramento das técnicas de cultivo deve obrigatoriamente vir acompanhado do treinamento e capacitação da equipe para manejar essas novas culturas, as quais possuem exigências distintas quando comparadas ao arroz irrigado.

6 CONCLUSÕES

A produção de feno de azevém em área de terras baixas é uma alternativa viável, entretanto, reduz o teor de potássio no solo caso não seja feita a adubação de reposição.

Em anos de elevada precipitação pluvial na semeadura da soja, independentemente da época de fenação ou dessecação, o azevém ocasiona redução na produtividade de grãos da soja cultivada em área de terras baixas.

A utilização da haste sulcadora, independentemente da profundidade e da utilização de aivecas, proporciona maior desuniformidade na profundidade de deposição das sementes.

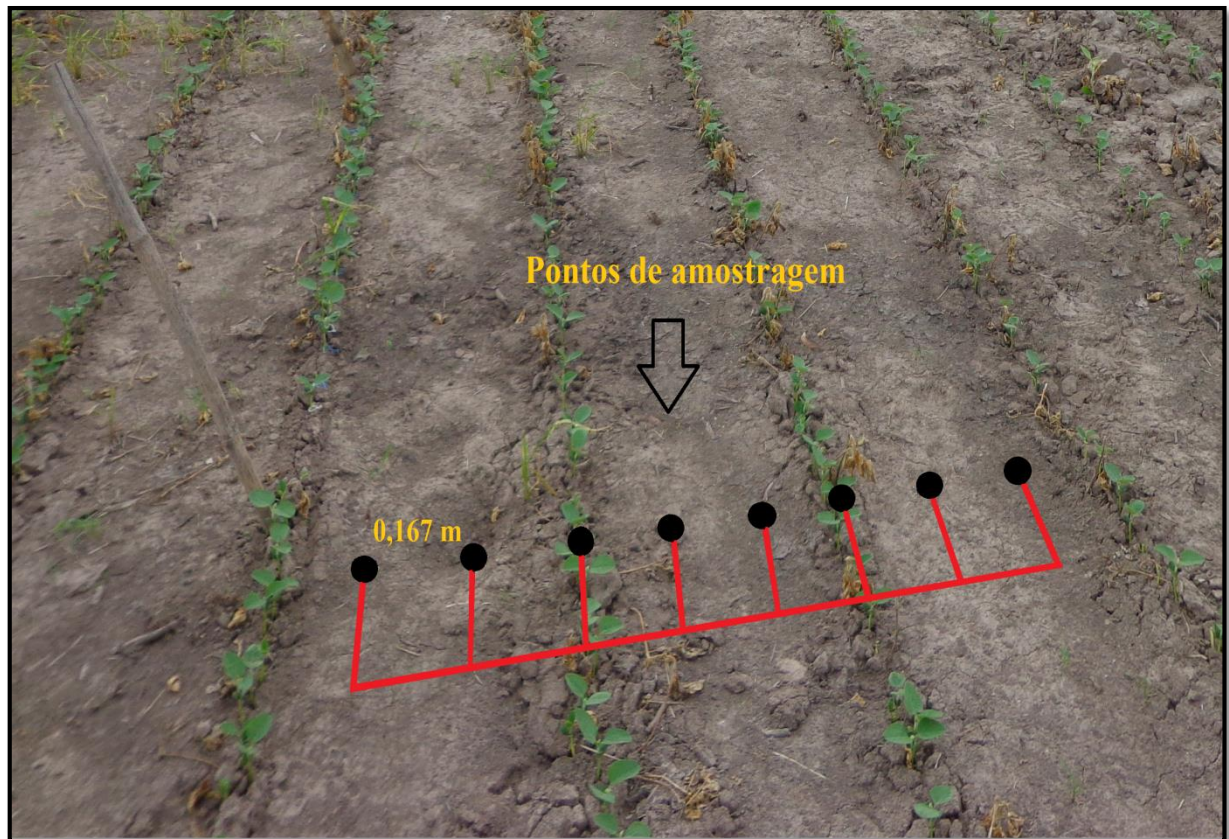
Sob disponibilidade hídrica adequada, não há diferença entre os mecanismos sulcadores da semeadora para o estabelecimento inicial de plantas de soja em área de terras baixas sistematizada.

A utilização de haste sulcadora a 0,23 m de profundidade, proporciona o aumento da macroporosidade e a redução da resistência mecânica à penetração do solo na linha de semeadura, na camada de 0-0,2 m.

A semeadura com haste sulcadora a 0,23 m e microcamalhão+haste sulcadora a 0,12 m possibilita maior produtividade de grãos da soja em área terras baixas com camada compactada próxima à superfície do solo.

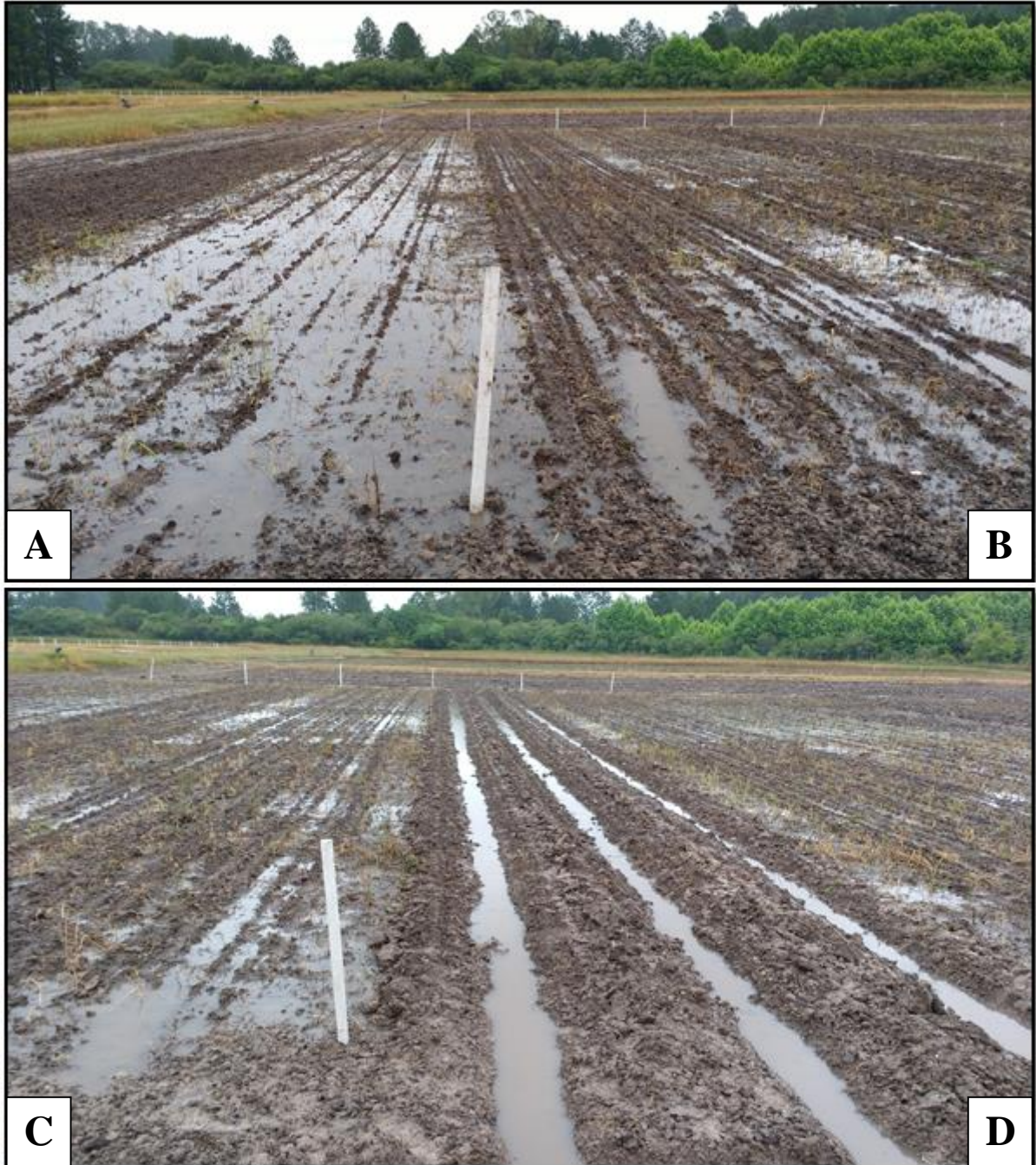
7 APÊNDICES

Apêndice 1 - Demonstração do método utilizado para determinar a resistência à penetração do solo, conforme citado no material e métodos do capítulo III.



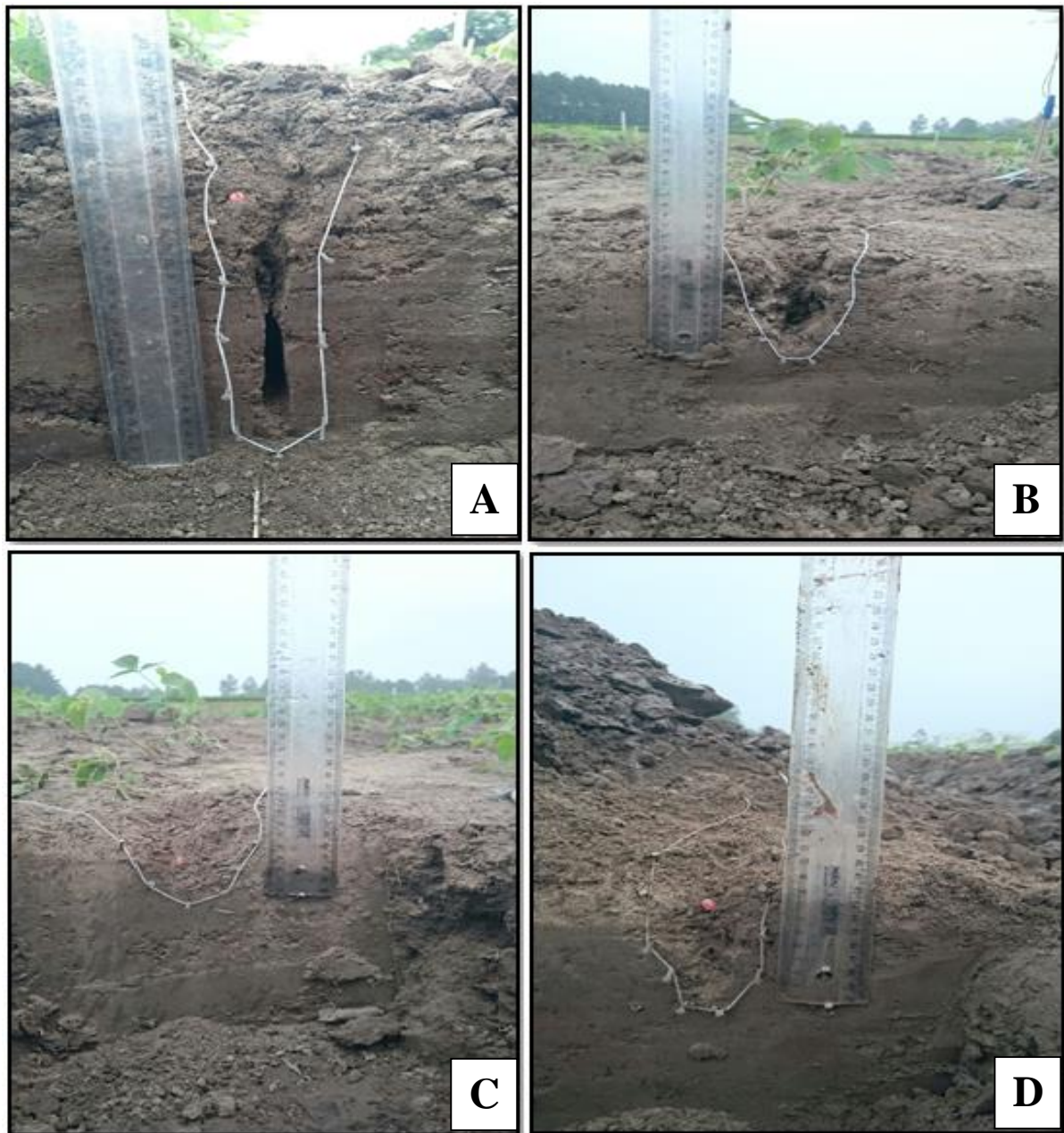
Fonte: COELHO, L.C. (2017).

Apêndice 2 - Drenagem da área após uma precipitação de 58,6 mm nos sistemas com Disco duplo a 0,07 m (A), HS a 0,23 m (B), HS a 0,13 m (C) e Micro+HS a 0,12 m (D).



Fonte: COELHO, L.C. (2017).

Apêndice 3 - Detalhe da profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores: HS a 0,23 m (A), HS a 0,13 m (B), Disco duplo a 0,07 m (C) e Micro+HS a 0,12 m (D).



Fonte: COELHO, L.C. (2017).