

Estabelecimento da Cultura da Soja em Terras Baixas em Função do Manejo e Umidade do Solo



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
290**

**Estabelecimento da Cultura da Soja em Terras
Baixas em Função do Manejo e Umidade do Solo**

*Germani Concenço
José Maria Barbat Parfitt
Caroline Hernke Thiel
Sidnei Deuner
Pâmela Andrades Timm
Alexssandra Dayane Soares de Campos
Thayse do Amaral Aires
Jaqueline Trombetta da Silva*

**Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2018**

Embrapa Clima Temperado 29
BR 392 km 78 - Caixa Postal 403
CEP 96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Presidente
Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente
Enio Egon Sosinski

Secretário-Executivo
Bárbara Chevallier Cosenza

Membros
*Ana Luiza B. Viegas, Fernando Jackson,
Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto
Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica
Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica
Nathália Santos Fick (estagiária)

Foto capa
Germani Concenço

1ª edição
Obra digitalizada (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Clima Temperado

E79 Estabelecimento da cultura da soja em terras baixas
em função do manejo e umidade do solo / Germani
Concenço... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima
Temperado, 2018.
25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /
Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 290)

1. Soja. 2. Arroz. 3. Pecuária. 4. Solo.
I. Concenço, Germani. II. Série.

CDD 633.34

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	24
Referências	24

Estabelecimento da Cultura da Soja em Terras Baixas em Função do Manejo e Umidade do Solo

Germani Concenção¹

José Maria Barbat Parfitt²

Caroline Hernke Thiel³

Sidnei Deuner⁴

Pâmela Andrades Timm⁵

Alexssandra Dayane Soares de Campos⁶

Thayse do Amaral Aires⁷

Jaqueline Trombetta da Silva⁸

Resumo – Dentre as alternativas à diversificação do binômio ‘arroz + pecuária extensiva’ nas áreas de terras baixas do Sul do Brasil, a soja vem ganhando espaço, seja pela possibilidade de aumentar a rentabilidade econômica dos produtores, ou para melhorar aspectos do sistema de cultivo. Este trabalho foi desenvolvido em condições de casa de vegetação e a campo, na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Em ambiente controlado, as plantas de soja da variedade BMX Icone foram cultivadas em baldes de PVC sob diferentes densidades e umidades de solo, enquanto no experimento em condições de campo as plantas foram conduzidas sob diferentes sistemas: solo escarificado, plantio no sistema de sulco camalhão; solo escarificado, plantio convencional; solo não escarificado, plantio sobre sulco camalhão; e solo não escarificado, plantio convencional. As variáveis analisadas foram altura de plantas, área foliar e massa fresca das raízes, para o experimento de casa de vegetação; e índice e duração de área foliar, densidade de raízes e manutenção de folhas, no experimento em campo. Os efeitos dos níveis

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

² Engenheiro agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

³ Engenheira-agrônoma, mestranda em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁵ Acadêmica de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁶ Acadêmica de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁷ Acadêmica de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁸ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

críticos de umidade do solo para o desenvolvimento da soja estão atrelados ao nível de compactação. Até 50 kPa de tensão de água do solo, as plantas de soja têm condições de se desenvolver adequadamente em condições de campo, quando associadas à densidade do solo de até 1,7 t m⁻³. O desempenho fisiológico das plantas de soja parece depender bastante do ambiente radicular. Fisiologicamente, em solos de terras baixas, a prática do sulco camalhão parece ser mais significativa do que a prática de escarificação do solo, pois permite a irrigação da lavoura, o que parece compensar em parte os efeitos deletérios de solos levemente compactados.

Termos para indexação: *Glycine max*; escarificação; sulco-camalhão; sistema de raízes; fisiologia.

Soybean Establishment in Lowland Areas as Function of Soil Management and Moisture

Abstract – Among the alternatives to the diversification of ‘rice + beef cattle’ in lowland areas of Southern Brazil, soybean has been gaining space, either by increasing producers’ economic profitability or by improving cropping system aspects. This work was developed under greenhouse and field conditions, at Embrapa Temperate Agriculture, Pelotas, RS. Under controlled environment, soybean plants of cultivar BMX Icone were cultivated in PVC vases under different densities and soil moisture levels, while in the experiment under field conditions the plants were conducted under scarified soil, with planting in the furrow system; scarified soil, with conventional planting; non scarified soil, with planting on furrow; and non scarified soil, with conventional planting. The variables analyzed were plant height, leaf area and fresh root mass for the greenhouse experiment; and leaf area index and duration, root density and leaf maintenance for the field experiment. The effects of critical levels of soil moisture for soybean development are linked to the level of soil compaction. Up to 50 kPa of soil water tension, soybean plants are able to develop adequately under field conditions, when associated to soil density of up to 1.7 t m⁻³. The physiological performance of soybean seems to be greatly dependent on the root environment. Physiologically, the practice of furrow-ridge planting seems to be more significant than soil scarification in lowland soils, since it allows crop irrigation, which seems to partially compensate for the deleterious effects of slightly compacted soils.

Index terms: *Glycine max*; scarification; furrow planting; root system; physiology.

Introdução

Nas áreas de terras baixas do Rio Grande do Sul predomina o monocultivo no verão do arroz irrigado por inundação contínua (Steinmetz; Braga, 2001). No período entre o outono e a primavera, a área pode permanecer em pousio, com estabelecimento da vegetação espontânea, ou então ser semeada com espécies hibernais, para pousio ou para uso com bovinos de corte ou de leite (Reis, 1998; Silva et al., 2015), o que se estende por dois anos ou mais.

Diversas espécies estivais de importância econômica são testadas como alternativa ao arroz irrigado em terras baixas, com foco na diversificação do sistema produtivo nesse ambiente, sendo as principais alternativas o milho (Bonow et al., 2013), o sorgo (Heiffig-Del Aguila et al., 2013) para grão, corte/pastejo ou para bioenergia, e a soja (Vedelago, 2014). Essa última possui forte apelo como alternativa, devido ao seu alto valor no mercado externo, tendo contribuído em 11% do agronegócio brasileiro no mercado internacional no ano de 2015 (Unifertil, 2016). No estado, 3 milhões de hectares desses solos possuem infraestrutura de drenagem e irrigação implantadas para cultivo de arroz irrigado, e estima-se que em torno de 2 milhões de hectares desses solos tenham potencial de uso para o cultivo da soja (Vedelago, 2014).

Nas terras baixas de clima temperado, os principais fatores limitantes ao estabelecimento e à produtividade da soja estão relacionados às características físicas do solo, e à dinâmica hídrica. Os solos de terras baixas caracterizam-se por apresentar horizonte A superficial e horizonte B com capacidade de percolação muito baixa (Vahl; Souza, 2004); nessas áreas, sistemas de manejo inadequados têm alterado a densidade, a porosidade e a agregação do solo (Lima et al., 2008). Devido a essas características, em épocas de chuva abundante, o solo permanece coberto por lâmina de água por longos períodos (Vedelago, 2014), mas em épocas mais secas o solo compactado apresenta baixa capacidade de armazenamento de água e sua resistência à penetração é alta (Bamberg, 2007), prejudicando o sistema de raízes da soja.

A necessidade de descompactação mecânica do solo, previamente ao plantio da soja, deve ser investigada, junto com o efeito de sua associação com a construção dos sulcocalhões para o bom desempenho da soja em áreas de terras baixas do sul do Brasil. Os indicadores de desempenho fisiológico das plantas de soja parecem ser a forma mais confiável de se inferir

sobre o efeito de determinadas práticas de manejo sobre o desempenho da cultura (Bergamin et al., 1999).

Logo, objetivou-se com o presente estudo, determinar os níveis de umidade críticos para o adequado desenvolvimento da soja, sua associação com o nível de compactação do solo, e suas inter-relações com alguns parâmetros fisiológicos da cultura.

Material e Métodos

I. Experimento em ambiente controlado

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), pertencente à Embrapa Clima Temperado, localizada em Capão do Leão, RS.

As unidades experimentais foram constituídas por baldes de PVC, com 15 cm de diâmetro e 25 cm de altura, em que foram reproduzidas as densidades de 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 e 2,0 kg dm⁻³. O procedimento utilizado consistiu em preencher o balde com terra peneirada em camadas de 4 cm, colocando-se no volume correspondente a essa camada a quantidade de massa de solo que correspondesse a essa densidade, com posterior compactação. A densidade de 1,4 kg dm⁻³ correspondeu apenas à colocação da terra no balde, sem compactação. O solo utilizado é classificado como Planossolo Háplico (Jacomine, 2009) e foi coletado no campo experimental da ETB, sendo observada a densidade de 1,6 kg dm⁻³ na profundidade de 10 cm. Foram adotados dois níveis de umidade do solo: 10 kPa e 50 kPa, cujo controle foi feito por um sensor cerâmico Watermark[®] instalado em cada balde, na profundidade média de 10 cm, conectado a *datalogger*. Diariamente, se necessário, era colocada água, pelas laterais do balde, a fim de restabelecer a tensão para o tratamento.

Foi utilizado delineamento experimental em blocos completamente casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial A x B. O fator A foram os sete níveis de densidade e o fator B os dois níveis de tensão de água no solo.

A cultivar de soja utilizada foi BMX Icone, a qual possui hábito de crescimento indeterminado, porte médio, e alto potencial produtivo em terras bai-

xas. O experimento foi semeado em outubro de 2017, com sete sementes por balde, na profundidade de 2 cm. Aproximadamente 6 dias após a emergência, foi realizado desbaste, sendo deixadas as quatro plantas mais vigorosas de cada balde.

As avaliações realizadas durante o experimento foram altura de plantas e área foliar. A altura de plantas foi obtida pela aferição com régua milimetrada de todas as plantas, feita a cada dois dias. Já para se determinar a área foliar, foram realizadas medidas de comprimento e largura do trifólio médio de cada planta, duas vezes por semana, então multiplicados pelo número de trifólios e por um fator de correção estabelecido conforme Richter et al. (2014).

Para a amostragem do sistema de raízes das plantas, após a coleta da parte aérea, o bloco de solo de cada balde (unidade experimental) foi levemente umedecido e cuidadosamente retirado dos baldes, indeformado, devido à sua forma cônica. O solo foi então separado em fatias de 5 cm de profundidade, a partir da superfície. As amostras de cada balde foram lavadas separadamente em água corrente, e separadas por profundidade, para a obtenção das raízes. Logo após lavadas, as raízes foram secas em papel toalha para se remover o excesso de água, sem compressão excessiva, sendo após aferida sua massa fresca em balança de precisão.

II. Experimento em condições de campo

O experimento de campo foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso, com dois fatores: (A) preparo do solo (com e sem escarificação), e (B) sistema de cultivo (sulcocamalhão e convencional). As parcelas mediram 12 m de comprimento por 6 m de largura, com quatro repetições. Os tratamentos foram:

- 1) escarificado, plantio no sistema de sulcocamalhão;
- 2) escarificado, plantio convencional;
- 3) não escarificado, plantio sobre sulcocamalhão;
- 4) não escarificado, plantio convencional.

A escarificação foi realizada com escarificador tratorizado, com hastes espaçadas em 30 cm, sob profundidade de 30 cm, somente no mesmo sentido das linhas de semeadura, e somente nas áreas do experimento que seriam atribuídas aos tratamentos 1 e 2 (com escarificação). Em seguida, toda a área do experimento foi adubada a lanço, com 700 kg ha⁻¹ de NPK 02525, que foi incorporado por passagem de grade leve. Essa fertilização corresponde à soma da correção de fertilidade mais a reposição.

Os sulcocamalhões foram então construídos nas áreas que seriam atribuídas aos tratamentos 1 e 3 (plantio sobre sulcocamalhão), com camalhoeira munida de 'pé de pato', sendo estabelecidos camalhões com largura de 90 cm entre sulcos, e crista com 10 cm de altura. Cada camalhão comportou a semeadura de duas linhas de soja.

O plantio da soja cultivar BMX Icone ocorreu em 08 de dezembro de 2017, na densidade de 15 sementes m⁻¹ de linha, no espaçamento de 45 cm entre linhas nos tratamentos 2 e 4 (plantio convencional), e espaçadas em 35 cm nos tratamentos 1 e 3 (plantio sobre sulcocamalhão). No entanto, como a largura de cada camalhão foi de 90 cm (com duas linhas sobre cada camalhão), a densidade de sementes foi igual (\pm 33 sementes m⁻²) para todos os tratamentos, bem como o espaçamento médio entre linhas.

A emergência média de todos os tratamentos ocorreu em 16/12/2017 (8 dias após plantio – DAP). O manejo de plantas daninhas foi realizado com 1,6 kg ha⁻¹ de smetolachlor, em pré-emergência da cultura, seguido por uma aplicação de glyphosate 25 dias após a emergência (DAE). Não foi necessária a aplicação de inseticidas ou fungicidas ao longo do ciclo de cultivo.

Semanalmente, a partir da emergência da cultura, dez plantas de cada tratamento foram coletadas para a aferição de área foliar, realizada em laboratório. Os procedimentos para determinação da área foliar seguiram aquele preconizado por Richter et al. (2014). A partir do acúmulo de área foliar, foram estabelecidos os índices de área foliar (IAF) da soja em função dos tratamentos e dos dias após emergência. Foi determinada, ainda, a duração da área foliar (DAF) das plantas de soja, também em função dos tratamentos e dos dias após emergência da cultura, segundo Gardner et al. (1985).

Aproximadamente 100 DAE, amostras de solo foram coletadas para aferições de crescimento do sistema de raízes das plantas de soja. Foram amos-

trados quatro pontos por tratamento. Em cada ponto, foram retiradas amostras com 1 m de comprimento e 20 cm de largura, nos extratos de 0 -10 cm, 10 - 20 cm e 20 - 30 cm de profundidade, que foram acondicionados em sacos separados. Nos tratamentos 1 e 3, foram coletadas também as cristas dos camalhões. As amostras foram lavadas em água corrente para separação das raízes, sendo determinada a sua massa seca (MSR) após secagem em estufa até massa constante. Por ocasião da colheita (145 DAE), foi avaliada a porcentagem de plantas com manutenção de folhas (FOL).

III. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas dos dados coletados, bem como os gráficos, foram executados no ambiente estatístico “R” (R Core Team, 2018), mediante funções utilizadas nos seguintes pacotes: “base”, “ExpDes” e “ggplot2”. Inicialmente, realizou-se a análise de variância pelo teste F em nível de 5% de probabilidade e, quando significativo, os tratamentos foram comparados pelo intervalo de confiança a 95%. Quando foram estabelecidas regressões em função dos dias após emergência da soja, essas foram comparadas pela determinação de seus respectivos intervalos de confiança a 95%. Os dados foram considerados distintos quando os intervalos de confiança, tanto de dados qualitativos como quantitativos, não se sobrepuseram (Concenço et al., 2018).

Resultados e Discussão

I. Experimento em ambiente controlado

A altura de plantas diferiu entre tratamentos, tanto em função do nível de umidade do solo como do seu nível de compactação (Figura 1). Em termos gerais, plantas de soja cultivadas sob umidade do solo em torno de 50 kPa foram aproximadamente 20% menores comparativamente às mantidas sob 10 kPa. No maior nível de umidade (10 kPa), os tratamentos se estratificaram em três grupos, bem distintos em função dos estreitos intervalos de confiança da média: o primeiro, com plantas mais altas, foi composto pelas plantas cultivadas em vasos com densidades de solo entre 1,5 e 1,6 t m⁻³; o segundo,

com desempenho intermediário, contemplou os tratamentos cultivados em solos com densidades entre 1,7 e 1,9 t m⁻³ além do tratamento com menor densidade, 1,4 t m⁻³; e, finalmente, o tratamento com desempenho inferior foi aquele cultivado em solo com 2,0 t m⁻³ (Figura 1A).

Sob o menor nível de umidade, 50 kPa (Figura 1B), a maior altura de plantas foi constatada nas plantas cultivadas em solo com densidade de 1,6 t m⁻³, seguidas pelas plantas sob 1,7 t m⁻³ de densidade do solo. Os demais tratamentos, embora com algumas diferenças entre si, mantiveram-se todos próximos, com altura de plantas bem abaixo daquelas cultivadas em solo com densidade entre 1,6 e 1,7 t m⁻³ (Figura 1B).

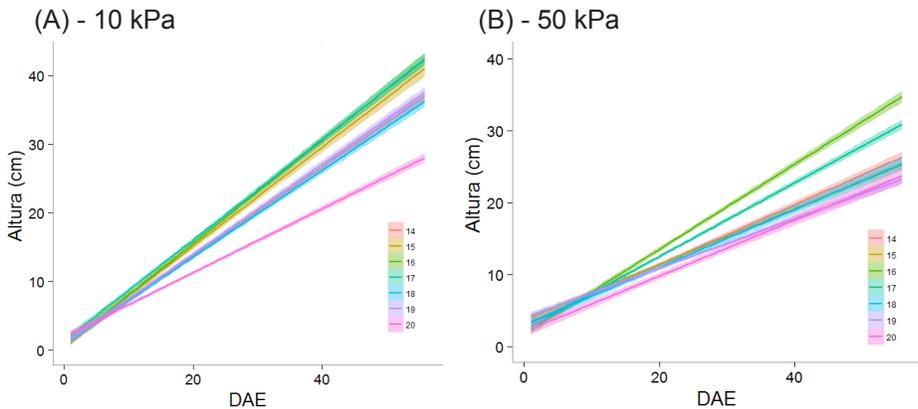


Figura 1. Altura de plantas de soja cultivar BMX Icone em função do nível de umidade do solo, níveis de compactação e dias após a emergência (DAE), ao longo de todo o ciclo da cultura. Intervalos de confiança das regressões a 95% são apresentados.

A menor densidade do solo avaliada (1,4 t m⁻³) normalmente não é observada em situações reais de campo, tendo sido obtida no tratamento pela pulverização do solo e sua deposição nos baldes, sem nenhum tipo de compactação. Para ambos os teores de umidade, aparentemente, essa menor densidade do solo, comparativamente ao usualmente observado para solos em condições de campo, não possibilitou o adequado contato entre o solo e as raízes das plantas, uma vez que o desenvolvimento da soja em densidade de solo de 1,4 t m⁻³ foi, em termos gerais, menor do que o obtido em densidades de 1,5 - 1,7 t m⁻³ (Figura 1).

Enquanto a altura, que é unidimensional (cm), apresentou comportamento linear em seu incremento (Figura 1), a área foliar, bidimensional (cm²), apresentou evidente comportamento quadrático (Figura 2), portanto proporcional à altura de plantas. Observou-se melhor comportamento de incremento da área foliar quando as plantas foram cultivadas sob 10 kPa de umidade, ou seja, com mais água disponível no solo (Figura 2A), aos 57 DAE. Sob esse nível de umidade, somente o tratamento com densidade do solo de 2,0 t m⁻³ apresentou limitações no acúmulo de área foliar das plantas (Figura 2A). Sob maior restrição hídrica (Figura 2B), em termos gerais, os tratamentos com densidade do solo $\geq 1,8$ t m⁻³ foram os mais afetados.

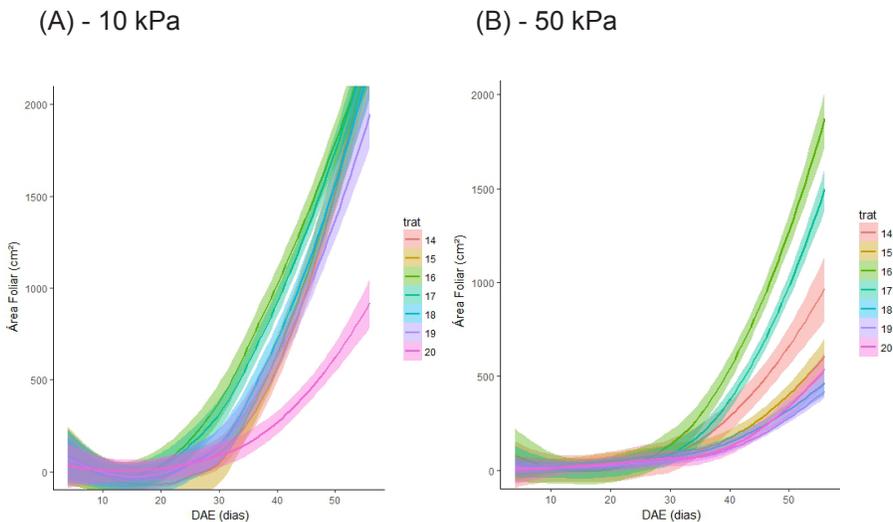


Figura 2. Área foliar de plantas de soja cultivar BMX Icone em função do nível de umidade do solo e níveis de compactação, mantido ao longo de todo o ciclo da cultura.

As raízes da soja (Figura 3) tiveram comportamento similar ao observado para as variáveis da parte aérea; no menor nível de restrição hídrica (10 kPa), o acúmulo de raízes foi pouco afetado pela densidade do solo, comprovando a hipótese de possível maior importância da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da planta, comparativamente à densidade do solo em que essas plantas se desenvolvem. Sob maior restrição hídrica (50 kPa), no entanto, o melhor desenvolvimento do sistema de raízes foi constatado em den-

idade do solo (D) de $1,6 \text{ t m}^{-3}$ (Figura 3), o que também ocorreu na sequência de tratamentos sob 10 kPa de tensão de água, porém em menor intensidade. Observou-se, ainda, que densidades do solo superiores a $1,6 \text{ t m}^{-3}$, independentemente do nível de umidade do solo, impuseram certa limitação à expansão em profundidade das raízes, com possível limitação do volume de solo explorado (Figura 3).

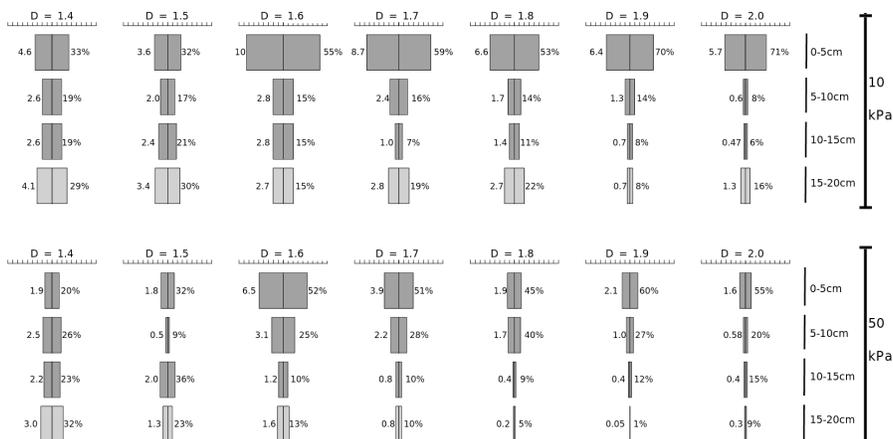


Figura 3. Massa fresca de raízes (g dm^{-3} de solo) de plantas de soja cultivar BMX Icone, 57 dias após a emergência, em função do nível de umidade do solo e níveis de compactação. *Valores à esquerda:* gramas de raízes por kg de solo; *valores à direita:* porcentagem das raízes naquela profundidade. DMS média = $1,3 \text{ g kg}^{-1}$ de solo. D = densidade do solo (t m^{-3}). Camada de 15 - 20cm: raízes se acumularam por alcançar o fundo do balde.

Assim, os efeitos dos níveis críticos de umidade do solo para o desenvolvimento da soja estão atrelados ao nível de compactação do solo em que as plantas crescem. Os dados de altura de plantas (Figura 1), área foliar (Figura 2) e massa fresca de raízes (Figura 3) evidenciam que altas densidades do solo são mais prejudiciais às plantas de soja quando associadas à restrição hídrica; em outras palavras, menor desenvolvimento de plantas de soja em condição de campo, frequentemente associado à compactação do solo, pode decorrer da compactação excessiva do solo, que reduz as taxas de infiltração no seu perfil.

Isso faz com que a maior parte da água da chuva, principalmente quando mais intensa e de curta duração, seja possivelmente perdida por escoamento superficial.

Para iniciar o processo de germinação, as sementes de soja necessitam atingir teor de 50% de umidade, e a água no solo deve apresentar potencial menor que 650 kPa (Bergamin et al., 1999). Além disso, nossos dados mostram que, durante o desenvolvimento vegetativo, até 50 kPa de tensão de água do solo, as plantas de soja têm condições de se desenvolver adequadamente em condições de campo, desde que associadas à densidade do solo de até 1,7 t m⁻³. Acima dessa densidade, limitações hídricas de infiltração e armazenamento de água nos solos podem implicar irrigações mais frequentes da área, ou maiores danos à soja, quando sob restrição hídrica moderada.

II. Experimento em condições de campo

Independentemente da escarificação do solo e do plantio em sistema convencional ou sobre camalhões, a área foliar das plantas foi equivalente até em torno de 40 DAP (Figura 4); no entanto, essa fase também foi representada por alta variabilidade nas respostas, em condições de lavoura, devido aos maiores intervalos de confiança constatados. A partir dos 55 DAP, os tratamentos claramente se diferenciaram em dois grupos quanto ao acúmulo de folhas nas plantas e, conseqüentemente, ao índice de área foliar (IAF): o grupo com desempenho superior, cujo pico de IAF foi de 5,4 - 6,8 m² de folha por m² de solo, incluiu os tratamentos com plantio de soja sobre sulcocamalhão (tratamentos 1 e 3), independentemente de ter havido escarificação do solo (Figura 4). Os tratamentos com cultivo de soja convencional, ou seja, sobre solo plano, apresentaram entre 3,2 e 4,3 m² de folha por m² de solo, o que também não é considerado altamente limitante à atividade fotossintética da soja (Bergamin et al., 1999).

Castro e Kluge (1999) relatam que índices de área foliar ≤ 4 m² m⁻², semelhantes aos obtidos nos tratamentos em semeadura convencional do estudo de campo, podem apresentar prejuízos por saturação lumínica em determinadas condições. O maior aproveitamento de CO₂ com áreas foliares dessas magnitudes só ocorre sob baixa intensidade de radiação. Sob alta irradiância solar, no entanto, somente áreas foliares em torno de 5 - 6 m² m⁻² resultam em máxima assimilação de CO₂. Assim, considerase que em anos com baixo

número de dias nublados, a soja tenha máxima assimilação fotossintética de CO_2 , quando seus índices de área foliar atingem os valores observados nos tratamentos implantados sobre sulcocamalhão (Figura 4).

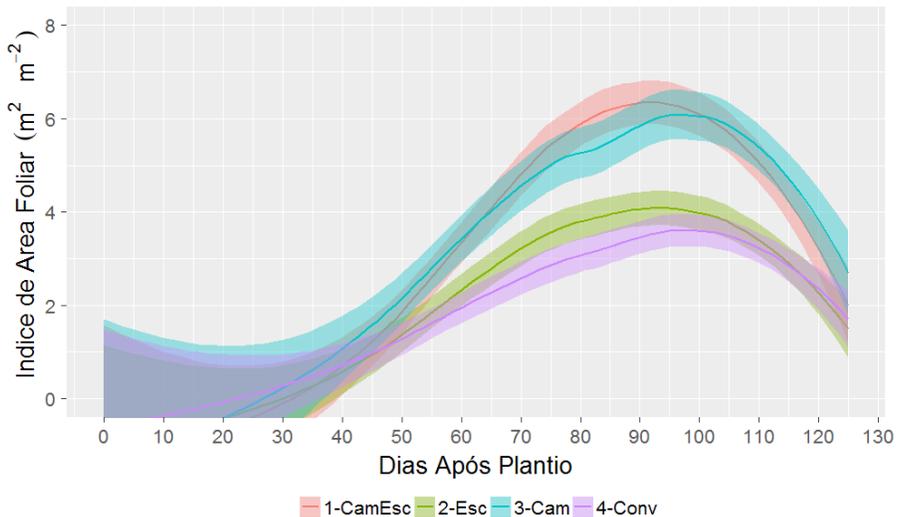


Figura 4. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) de plantas de soja cultivar BMX Icone, em função da escarificação ou não do solo, do plantio em sistema convencional ou sobre sulcocamalhão, e dos dias após plantio. 1CamEsc = plantio de soja sobre sulcocamalhão em solo escarificado; 2Esc = plantio de soja em solo escarificado; 3Cam = plantio de soja sobre sulcocamalhão, em solo não escarificado; e 4Conv = plantio de soja em solo não escarificado. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2017/2018.

Não somente o índice de área foliar é importante, mas também o período de duração, ou a vida útil, das folhas da soja. Cada folha da planta demanda considerável gasto energético para ser formada, e quanto mais tempo ela permanecer na planta, desde que contribuindo com fotoassimilados, menor será o gasto energético da planta por não ter que demandar energia para formar uma nova folha. A energia economizada, dependendo da fase de desenvolvimento da cultura, é majoritariamente dirigida para os grãos, que são importante dreno de fotoassimilados (Hunt, 2017).

As folhas da soja necessitam de uma a duas semanas para a completa formação (Bergamin et al., 1999), quando então atingem seu máximo pico de taxa fotossintética, que dura em torno de uma semana (Figura 5). Após esse

período, quanto mais rápido a folha perder eficiência fotossintética, mais rápido ela terá que ser desligada da planta, e maior a energia disponível gasta para a formação de uma nova folha. Assim, é interessante à planta de soja manter área foliar, principalmente quando isso advém de uma maior duração da folha na planta, comparativamente a situações em que a maior área foliar é mantida pela formação de novas folhas e abortamento das mais velhas.

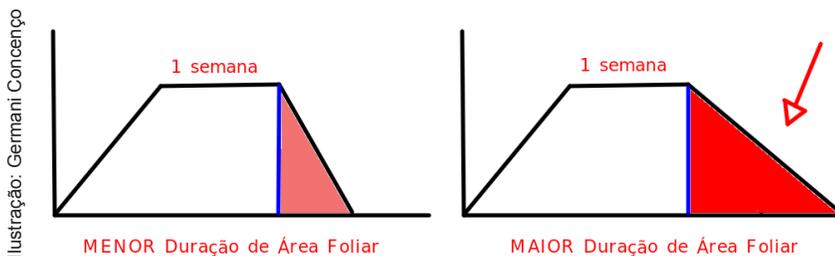


Figura 5. Exemplo esquemático da taxa de contribuição de uma folha hipotética para a fotossíntese líquida das plantas de soja. A área em vermelho identifica a taxa assimilatória adicional com que uma folha contribui para a formação da planta, quando permanece mais tempo ligada à planta.

A duração da área foliar (DAF) é um conceito complexo que envolve cálculos de áreas sob a curva. Em termos simples, para propósito de mais fácil compreensão, será considerado como o tempo em que as folhas permanecem ligadas à planta-mãe contribuindo para a fotossíntese líquida positiva. A DAF foi máxima em torno de 70 - 80 DAE, para todos os tratamentos (Figura 6). Nesse período, observase que os tratamentos somente escarificado (T2), somente sulcocamalhão (T3) ou ausência de ambos (T4, sistema convencional) apresentam duração de área foliar entre 18 e 38 dias na maioria das lavouras, sob mesmas condições edafoclimáticas e culturais, com base nos intervalos de confiança (valores absolutos entre 20 e 31 dias no experimento). Enquanto isso, o tratamento com construção de sulcocamalhão sobre solo previamente escarificado possibilitou manutenção da folha na planta por 38-52 dias em situação de lavouras sob condições edafoclimáticas e culturais idênticas às do experimento (valor absoluto em torno de 42 dias no experimento); isso representa, em termos gerais, duração de área foliar 70-80% superior no tratamento 1, comparativamente aos demais (Figura 6). Nesse maior período de manutenção da folha, ela prolongará sua contribuição fotossintética para a planta; porém, quando não estiver mais contribuindo

a contento, iniciam-se os processos fisiológicos para a remobilização de alguns nutrientes e o posterior desligamento da planta.

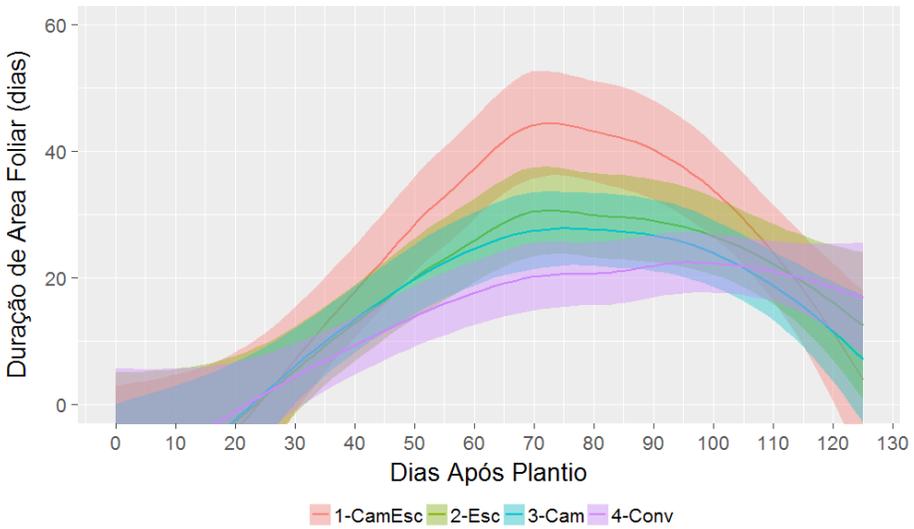


Figura 6. Duração de área foliar (dias) de plantas de soja cultivar BMX Icone, em função da escarificação ou não do solo, do plantio em sistema convencional ou sobre sulcocamalhão, e dos dias após plantio. 1CamEsc = plantio de soja sobre sulcocamalhão em solo escarificado; 2Esc = plantio de soja em solo escarificado; 3Cam = plantio de soja sobre sulcocamalhão, em solo não escarificado; e 4Conv = plantio de soja em solo não escarificado. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2017/2018.

A massa seca das raízes das plantas de soja, usualmente, desenvolve-se entre a germinação da semente, com consequente emissão da radícula, e o período de início da formação dos grãos [R5 na escala de Fehr e Caviness (1977)], o que nas variedades utilizadas na região sul do Rio Grande do Sul representa em torno de 100 DAE. A amostragem de raízes, no presente estudo, foi realizada por ocasião da paralisação do crescimento das raízes, sendo apresentada na Figura 7.

Somente as práticas de escarificação ou de sulcocamalhão, isoladas, não foram capazes de contribuir para maior densidade de raízes de soja em condições de campo, no presente estudo, de acordo com os intervalos de confiança da média a 95% (Figura 7). Enquanto esses tratamentos apresentaram

em torno de 0,07 g de raízes secas por kg de solo coletado, o tratamento conjunto com sulcocamalhão estabelecido sobre área previamente escarificada acumulou em torno de 0,14 g de raízes kg^{-1} de solo (Figura 7). Essa maior densidade de raízes pode contribuir para maior captação de nutrientes e de água, principalmente em situações em que esses recursos sejam relativamente escassos, auxiliando a planta a manter maiores índices de área foliar e maiores taxas de assimilação de CO_2 (Riedel; Reese, 1998).

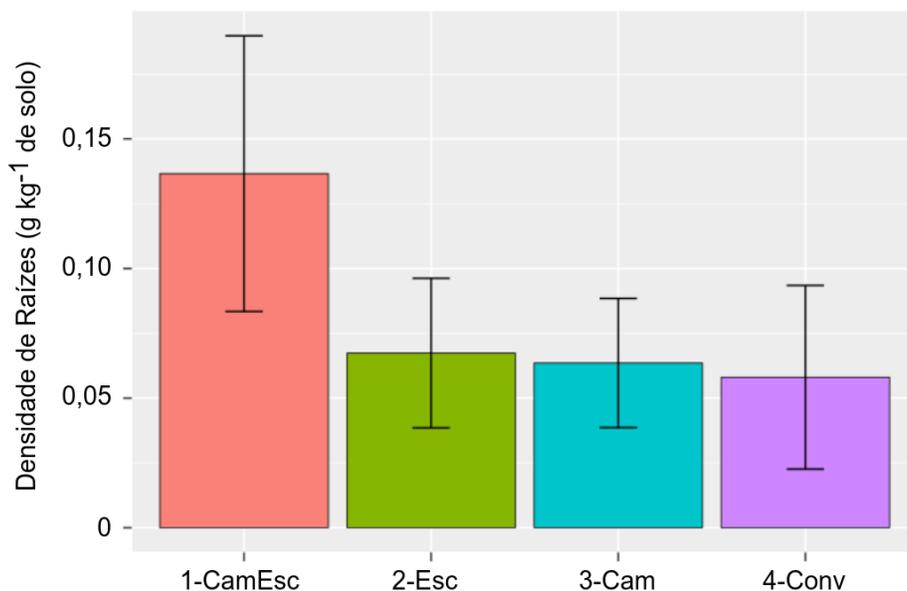


Figura 7. Densidade de raízes (g de raízes kg^{-1} de solo) de plantas de soja cultivar BMX Icone, aos 100 DAE, em função do tratamento, sendo: 1CamEsc = plantio de soja sobre sulco-camalhão em solo escarificado; 2Esc = plantio de soja em solo escarificado; 3Cam = plantio de soja sobre sulcocamalhão, em solo não escarificado; e 4Conv = plantio de soja em solo não escarificado. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 201720/18.

Além das raízes de soja, sua distribuição no solo é fator preponderante, e deve ser avaliado em futuros estudos. No presente trabalho, constatouse que o conjunto de fatores positivos ao ambiente radicular, ocasionado pelo solo mais solto na superfície e pela possibilidade de irrigação da lavoura, ambos decorrentes da construção dos sulcocamalhões, aliados à provável maior profundidade explorada do solo, devido à escarificação, parece favorecer so-

bre maneira não somente o sistema de raízes da soja, mas também as variáveis da parte aérea, como a área foliar e sua maior permanência na planta.

Os melhores desempenhos do índice de área foliar (Figura 4) e de sua maior permanência na planta (Figura 5) parecem resultar tanto do maior volume de solo explorado pelas raízes como da irrigação do cultivo, o que está de acordo também com os dados obtidos no ensaio em ambiente controlado.

O desempenho fisiológico das plantas de soja parece depender substancialmente do ambiente radicular; assim, maiores área foliar, índice de área foliar, duração de área foliar e provavelmente taxa de assimilação líquida (não avaliada no presente trabalho) provavelmente dependam de níveis adequados de aeração e umidade no solo, o que é um desafio em terras baixas devido, às características físicas de solos de várzeas.

Fisiologicamente, em solos de terras baixas, a prática do sulcocamalhão parece ser mais significativa do que a prática de escarificação do solo, pois o plantio de soja sobre sulcocamalhões permite a irrigação da lavoura por meio da inundação dos sulcos, o que – de acordo com os dados do experimento em ambiente controlado – parece compensar em parte os efeitos deletérios de solos levemente compactados. No entanto, ambas as práticas, quando aplicadas conjuntamente, parecem promover os maiores benefícios ao cultivo de soja em terras baixas.

A maior importância do sulcocamalhão, e provavelmente a possibilidade do emprego da irrigação por ele viabilizado por, pôde ser indiretamente vista ao final do ciclo da soja, por ocasião da colheita (\pm 145 DAE), quando se constatou que os tratamentos sem sulcocamalhão pareciam estar com o ciclo um pouco mais atrasados, uma vez que muitas das plantas nesses tratamentos ainda possuíam folhas aderidas a elas, em contraponto aos tratamentos implantados sobre sulcocamalhão, que raramente tinham alguma folha aderida (Figura 8).

Enquanto plantas de soja cultivadas sobre sulcocamalhão apresentaram 1 - 12% de plantas com pelo menos uma folha aderida aos 145 DAE, tratamentos implantados em área sem camalhões, independentemente de escarificação prévia ao plantio, apresentaram 16 - 33% de plantas com pelo menos uma folha aderida. Esse fato pode trazer complicações à própria operação de colheita, como aumentar o teor de impurezas no produto colhido.

T1: Escarificado + camalhão

T2: Escarificado



T3: Não escarificado + camalhão

T4: Não escarificado



Figura 8. Manutenção de folhas nas plantas por ocasião da pré-colheita da cultivar de soja BMX Icone, em torno de 145 dias após emergência. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2017/2018.

Salientase, no entanto, que as folhas aderidas à planta não configuraram “retenção foliar”, que é a manutenção das folhas verdes por um período mais longo, após maturação da semente, estando usualmente associada à síndrome da haste verde (Silva et al., 2013). Constatou-se somente atraso na queda das folhas, sem ocorrência de folhas ou hastes que continuassem verdes nas plantas. Isso significaria, portanto, um provável atraso no ciclo da cultura, em decorrência do estresse sofrido devido à compactação e falta de níveis adequados de umidade no solo. Ressalta-se que a adubação realizada é considerada alta, e limitações de disponibilidade de nutrientes às plantas dificilmente causariam estresse na lavoura do presente estudo.

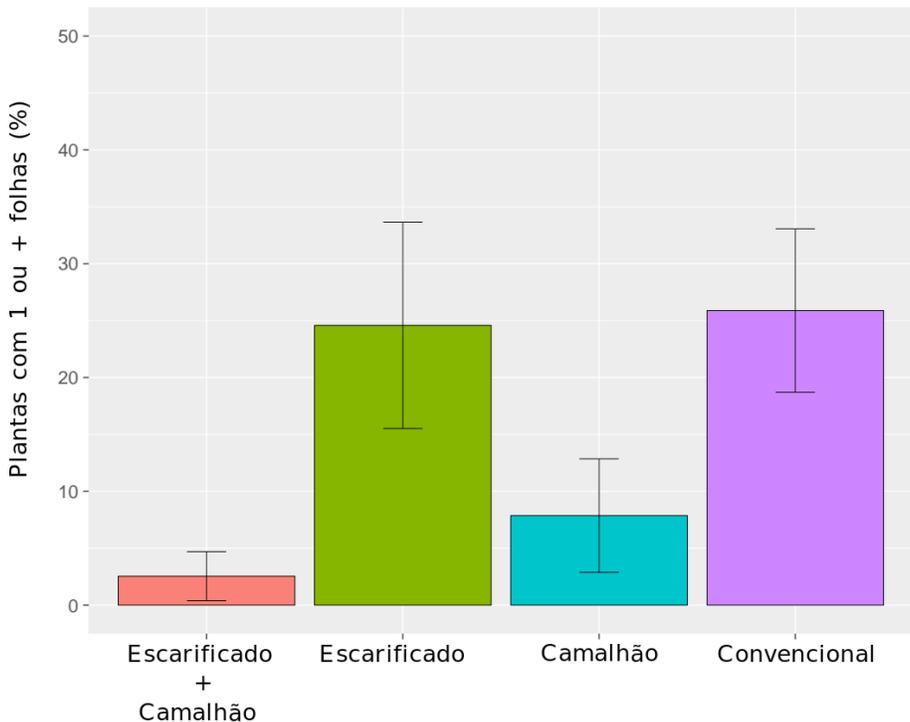


Figura 9. Manutenção de folhas (% das plantas) de plantas de soja cultivar BMX Icone, por ocasião da pré-colheita dessa cultivar, em torno de 145 dias após emergência, em função da escarificação ou não do solo, do plantio em sistema convencional ou sobre sulco camalhão, e dos dias após plantio. Linhas sobre as colunas representam os intervalos de confiança da média a 95%. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2017/2018.

Conclusões

Os efeitos dos níveis críticos de umidade do solo para o desenvolvimento da soja estão atrelados ao nível de compactação do solo em que as plantas crescem. Menor desenvolvimento de plantas de soja, em condição de campo, pode decorrer da redução das taxas de infiltração no perfil do solo, ou seja, da menor disponibilidade de armazenamento de água. Até 50 kPa de tensão de água, as plantas de soja têm condições de se desenvolver adequadamente em condições de campo, quando associadas à densidade do solo de até 1,7 t m⁻³.

O desempenho fisiológico das plantas de soja parece depender enormemente do ambiente radicular; assim, maiores área foliar, índice de área foliar, duração de área foliar e provavelmente taxa de assimilação líquida dependem de níveis adequados de aeração e umidade, o que é um desafio em terras baixas devido às características físicas do solo. Fisiologicamente, em terras baixas, a prática do sulcocamalhão parece ser mais significativa do que a escarificação do solo, pois permite a irrigação da lavoura, o que parece compensar em parte os efeitos deletérios de solos levemente compactados. No entanto, ambas as práticas, quando aplicadas conjuntamente, parecem promover os maiores benefícios à fisiologia da soja em terras baixas.

Referências

- BAMBERG, A. L. **Avaliação da densidade de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo ao longo do tempo através da tomografia computadorizada**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.
- BERGAMIN, M.; CANCIAN, M. A. E.; CASTRO, P. R. C. Soja. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 7390.
- BONOW, J. F. L.; THEISEN, G.; XAVIER, F. M. Milho cultivado em Terras Baixas em sistema de camalhões de base larga: resultado de seis safras. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58., 2013, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 1 CD-ROM.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. 126 p.
- CONCENÇÃO, G.; ANDRES, A.; SCHREIBER, F.; SCHERNER, A.; BEHENCK, J. P. Statistical approaches in weed research: choosing wisely. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 45-58, 2018.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University, 1985. 327 p.

HEIFFIG-DEL AGUILA, L. S.; EMYGDIO, B. M.; GEHLING, R. K.; DURLACHER, K. S.; FACCHINELLO, P. H. K.; BARROS, L. M. Determinação da melhor população de plantas no espaçamento 0,5m para cultivares de sorgo sacarino adaptadas ao Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58., 2013, Pelotas. **Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2013. 1 CD-ROM.

HUNT, R. **Growth analysis, individual plants**. Amsterdam: Elsevier, 2017. v. 2, p. 579-588.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação Brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 6, p. 161179, 2009.

REIS, J. C. L. **Pastagens em Terras Baixas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. 34 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 7).

RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRAULICH, B.; ROCHA, T. S. M.; WINCK, 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. 416425, 2014.

RIEDEL, W. E.; REESE, R. N. Maize Morphology and Shoot CO₂ Assimilation after Root Damage by Western Corn Rootworm Larvae. **Crop Physiology & Metabolism**, v. 39, n. 5, p. 1332-1340, 1998.

SILVA, A. J.; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, p. 151156, 2013.

SILVA, J. L. S.; SANTOS, D. T.; VIEIRA, P. C.; PILLON, C. N. **Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Porto Alegre: Comitê Gestor Estadual da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, 2015. (Boletim Técnico, Plano ABC).

STEINMETZ, S.; BRAGA, H. J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 429-438, 2001.

UNIFERTIL. **Informativo Agrícola Unifertil**, v. 230, ano 6, jan. 2016.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 97-118.

VEDELAGO, A. **Adução para a soja em terras baixas drenadas no Rio Grande do Sul**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Embrapa

Clima Temperado