

TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O MANEJO RENTÁVEL E EFICIENTE DA CULTURA DA SOJA

Thomas Newton Martin

João Leonardo Fernandes Pires

Rosana Taschetto Vey

2022



Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja

Ano 2022

Autores / Organizadores
Thomas Newton Martin
João Leonardo Fernandes Pires
Rosana Taschetto Vey

Santa Maria
Editora GR
2022

Diagramação: Grégory Rossato - gregory.rossato@gmail.com

Fotos/tabelas/imagens: Autor

Arte da capa: Thaís Teixeira de Oliveira - Estudante do 5º semestre de Comunicação Social - Publicidade e Propaganda

Revisão: Autor

Impressão: Gráfica Pallotti - (55)3220-4500

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

T255

Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja / Thomas Newton Martin [et al.].
Santa Maria: Editora GR, 2022.

528 p. ; 14x21 cm

ISBN 978-65-89469-57-5

1. Soja 2. Cultivo 3. Manejo I. Título

CDU 633.34

Bibliotecária responsável Trilce Morales – CRB 10/2209



@coxilhaufsm
coxilhaufsm@gmail.com

A exatidão das informações, conceitos e opiniões emitidos em cada um dos capítulos são de exclusiva responsabilidade dos autores de cada capítulo.

É permitida a reprodução parcial ou total dessa obra, desde que citada a fonte.

Apresentação

A soja é a principal cultura econômica do Sul do Brasil. De grande tradição como protagonista nos sistemas de produção, nos últimos anos, cresceu em área (com expansão significativa, especialmente na Metade Sul do RS), produção e rendimento de grãos. Isso é resultado dos avanços tecnológicos provenientes do setor Público e Privado, da infraestrutura de produção disponível, da assistência técnica e da inegável capacidade do produtor rural.

Apesar de muitos avanços, vários desafios e oportunidades se apresentam nesse cenário agrícola dinâmico. As possibilidades de intensificação dos sistemas de produção, onde a soja precisa estabelecer parceria “ganha-ganha” com outras culturas e criações; a necessidade de maximizar o rendimento de grãos; o uso eficiente em um cenário de insumos com valores elevados; a exploração efetiva da genética disponível representada pelas cultivares e seus manejos específicos; a mitigação dos riscos climáticos; a necessidade de adaptação/seleção de tecnologias que tenham efetividade no campo; a discussão sobre qualidade dos grãos e seus reflexos no manejo e na comercialização; são algumas das possibilidades para aprimoramento da produção de soja na atualidade.

Este livro, organizado pelo Grupo de Pesquisa em Manejo Sustentável de Grandes Culturas de Coxilha, da Universidade Federal de Santa Maria, representa o esforço de diversos grupos de pesquisa que atuam na busca pela evolução da produção de soja no cenário descrito anteriormente. Foi materializado a várias mãos, buscando disponibilizar conhecimento consolidado sobre aspectos que são fundamentais para a produção de soja. Esta obra está organizada em grandes áreas, que, de

certa forma, acompanham o desenvolvimento e tomadas de decisão necessárias para a condução das lavouras. Inicialmente, aborda os aspectos da nutrição vegetal e uso do solo; apresenta estratégias para o melhoramento genético da cultura; discute aspectos referentes a eco-fisiologia e manejo; discorre sobre o controle de plantas daninhas, doenças e pragas; e faz análise sócio-econômica sobre a formação dos preços da soja.

Aqui está sendo representada a contribuição das pesquisas de diferentes grupos de Instituições Públicas e Privadas que atuam na pesquisa de soja no Sul do Brasil. Expressa o acúmulo de experiências com diferentes sistemas de produção, em áreas de Coxilha e de Várzea, abordando os principais aspectos para produção rentável e sustentável de soja.

João Leonardo Fernandes Pires
Eng. Agr. Dr. Embrapa Trigo

Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja

Editores Científicos

Solos e Nutrição Vegetal

Amauri Nelson Beutler	Universidade Federal do Pampa – Campus Itaqui
André Luis Vian	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Claudir José Basso	UFSM - Campus de Frederico Westphalen, RS
Daniela Batista dos Santos	IFRS - Ibirubá
Frederico Costa Beber Vieira	Universidade Federal do Pampa – Campus São Gabriel
Gustavo Brunetto	Universidade Federal de Santa Maria
Marlo Adriano Bison Pinto	Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi
Rodrigo Josemar Seminoti Jacques	Universidade Federal de Santa Maria
Rodrigo Pizzani	Sociedade Educacional Três de Maio

Melhoramento, Aptidão Industrial e Sementes

Gerusa Massuquini Conceição	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Campus Ijuí
Ivan Ricardo Carvalho	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Campus Ijuí
Leandro Homrich Lorentz	Universidade Federal do Pampa – Campus São Gabriel
Marcos Paulo Ludwig	IFRS - Ibirubá
Riteli Baptista Mambrin	Centro de Ensino Superior Riograndense – Campus Marau
Rogério Backes	Universidade Federal de Santa Maria

Ecologia, Fisiologia e Práticas Culturais

André Ebone	Universidade Federal de Santa Maria
Charleston Lima	Universidade Federal de Santa Maria
Christian Bredemeier	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Diego Nicolau Follmann	Universidade Federal de Santa Maria
Geomar Mateus Corassa	Cooperativa Central Gaúcha Ltda
Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior	Universidade de Passo Fundo
Giovani Burg	Universidade Federal de Santa Maria
Glauber Monçon Fipke	Universidade Federal do Pampa – Campus Itaqui
João Leonardo Fernandes Pires	Embrapa Trigo
Mara Grohs	Instituto Riograndense do Arroz
Mateus Possebon Bortoluzzi	Universidade de Passo Fundo
Naracelis Poletto	Instituto Federal Catarinense – Campus Santa Rosa do Sul
Robson Giacomeli	Universidade Federal do Pampa – Campus Itaqui
Rodrigo Luiz Ludwig	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá
Thomas Newton Martin	Universidade Federal de Santa Maria

Proteção de Plantas

Ana Lúcia de Paula Ribeiro	Instituto Federal Farroupilha – Campus São Vicente do Sul
André Andres	Embrapa Clima Temperado
Andre da Rosa Ulguim	Universidade Federal de Santa Maria
Carolina Cardoso Deuner	Universidade de Passo Fundo

Caroline Wesp Guterres	Cooperativa Central Gaúcha Ltda
Fernando Felisberto da Silva	Universidade Federal do Pampa – Campus São Gabriel
Ivan Francisco Dressler da Costa	Universidade Federal de Santa Maria
Janine Palma	Cooperativa Central Gaúcha Ltda
Jardel Henrique Kirchner	IFRS - Ibirubá
Jonas Arnemann	Universidade Federal de Santa Maria
Leandro Galon	Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim
Mauro Antonio Rizzardi	Universidade de Passo Fundo
Siumar Pedro Tironi	Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Chapecó/SC
Vanessa Schwanke Fontana Rebelato	Universidade de Cruz Alta

Transferência de Tecnologia e Socioeconomia

Adriano Lago	Universidade Federal de Santa Maria - Campus de Palmeira das Missões
Marlova Benedetti	Instituto Federal do Rio Grande do Sul
Nilson Luiz Costa	Universidade Federal de Santa Maria - Campus de Palmeira das Missões



Sumário

1 – Nutrição Vegetal e Uso do Solo	11
FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO PARA CULTURA DA SOJA	11
CALAGEM E ADUBAÇÃO PARA SOJA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	47
MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO, FIXADORES DE NITROGÊNIO E SOLUBILIZADORES NA CULTURA DA SOJA	69
2 – Genética, Melhoramento e Tecnologia de Sementes	105
ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO PARA A SOJA	105
3 – Ecologia, Fisiologia e Práticas Culturais	127
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CULTURA DA SOJA E A PRODUTIVIDADE DA CULTURA	127
FENOLOGIA DA CULTURA DA SOJA: DA TEORIA À PRÁTICA.....	149
ÉPOCA DE SEMEADURA DA SOJA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE RISCOS HÍDRICOS	187
PLANTABILIDADE E VELOCIDADE DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA.....	201
DESSECAÇÃO E ANTECIPAÇÃO NA COLHEITA DA SOJA: IMPACTO SOBRE A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE.....	215
MAXIMIZANDO A PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	227

CULTIVO DE SOJA SAFRINHA NO RIO GRANDE DO SUL	249
APLICAÇÕES DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA SOJA	275
RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DA SOJA SOB ALAGAMENTO DO SOLO	297
MANEJO DA CULTURA DA SOJA EM TERRAS BAIXAS..	321
LIMITAÇÕES E POSSIBILIDADES DE SOJA EM ÁREAS DE ARROZ	341
4 – Controle de Plantas Daninhas	369
MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA EM COXILHA.....	369
MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM SOJA CULTIVADA EM TERRAS BAIXAS DO RIO GRANDE DO SUL	405
5 – Fitopatologia	423
MANEJO INTEGRADO DE DOENÇAS DA SOJA	423
ASPECTOS E INOVAÇÕES NO MANEJO DE NEMATOIDES DE IMPORTÂNCIA NA CULTURA DA SOJA.....	477
6 – Entomologia	499
DIAGNÓSTICO GERAL DA OCORRÊNCIA DE INSETOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA	499
7 – Difusão de Tecnologia e Socioeconomia	513
ANÁLISE DO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO PREÇO DA SOJA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL: 2020	513

1 – Nutrição Vegetal e Uso do Solo

FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO PARA CULTURA DA SOJA

Gustavo Brunetto¹, Anderson Cesar Ramos Marques², Amanda Posselt Martins³, Alcione Miotto⁴, Tales Tiecher⁵, Tadeu Luis Tiecher⁶, Osmar Henrique de Castro Pias⁷, Vitor Gabriel Ambrosini⁸, Paulo Ademar Avelar Ferreira⁹, Leandro Souza da Silva¹⁰, Carina Marchezan¹¹, Lincon Oliveira Stefanello da Silva¹², Raíssa Schwalbert¹³, Gerson Laerson Drescher¹⁴, Fábio Joel Kochem Mallmann¹⁵, Danilo Eduardo Rozane¹⁶ e Lessandro De Conti¹⁷

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Associado do Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Pesquisador do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: acrmarques@hotmail.com.br

³ Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Professora do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: amanda.posselt@ufrgs.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal de Ciência de Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), São Miguel do Oeste, SC, Brasil. E-mail: alcione.miotto@ifsc.edu.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: tales.t@hotmail.com

⁶ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal de Ciência de Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Restinga, RS, Brasil. E-mail: tadeu.t@hotmail.com

⁷ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, Professor do Instituto Federal de Ciência de Tecnologia Farroupilha (IFFar), Júlio de Castilhos, RS, Brasil. E-mail: osmar.pias@iffarroupilha.edu.br

⁸ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: vgambrosini@gmail.com

⁹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul, RS, Brasil. E-mail: ferreira.aap@gmail.com

¹⁰ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: leandrosolos@ufsm.br

¹¹ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: marchezancarina@yahoo.com.br

¹² Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: linconfa@hotmail.com

¹³ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agronomia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: raissa_schwalbert@hotmail.com

¹⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da University of Arkansas (UARK), Arkansas, AR, Estados Unidos. E-mail: gersondrescher@gmail.com

¹⁵ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: fabiojkmallmann@yahoo.com.br

¹⁶ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor do Departamento de Solos da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) Câmpus de Registro, Registro, SP, Brasil. E-mail: danilorozane@registro.unesp.br

¹⁷ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Instituto Federal de Ciência de Tecnologia Farroupilha (IFFar), Santo Augusto, RS, Brasil. E-mail: lessandrodeconti@gmail.com

Introdução

A expressão do potencial produtivo das cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é dependente de inúmeros fatores de produção, com destaque às características físicas, biológicas e químicas do solo. Quando o solo é ácido e não possui capacidade de fornecer a quantidade suficiente de nutrientes para suprir a demanda das plantas, torna-se necessária a calagem e adubações. Estas duas práticas de manejo relacionadas a fertilidade de solo, representam boa parte do custo de produção das culturas, inclusive da soja. Aliado a isso, quando realizadas de forma inadequada tecnicamente, poderão contribuir muito pouco na melhoria do estado nutricional das plantas e no incremento da produtividade de grãos. Mas também, poderão potencializar a contaminação de solos e águas, especialmente, as subsuperfícies, adjacentes as áreas cultivadas; bem como prejudicar a qualidade de grãos. Por isso, o estabelecimento da necessidade e doses de corretivos e fertilizantes, deve acontecer a partir de critérios técnicos, contidos nos manuais oficiais de calagem e adubação dos mais diferentes estados ou regiões, bem como em indicações técnicas regionais para cultura.

Assim, no presente capítulo, sem a intenção de esgotar os assuntos, abordaremos temas relacionados a calagem, gessagem, adubação, eficiência de absorção de nutrientes pela soja e suas faixas de suficiência de nutrientes no tecido. Tudo isso, para contribuir na divulgação do conhecimento, que poderá ser usado para aumentar a produtividade da soja, a lucratividade do produtor, mas sem potencializar o risco de contaminação ambiental.

Calagem para a cultura da soja em sistema plantio direto

A calagem é uma técnica primordial e essencial ao manejo da fertilidade do solo para as mais diferentes espécies agrícolas cultivadas em solos ácidos, incluindo a soja. A aplicação de calcário em dose e forma adequadas resulta no aumento do pH do solo que, por sua vez,

será responsável por várias mudanças químicas no solo que impactam na eficiência dos fertilizantes e na produtividade de plantas. Uma delas é a neutralização de elementos fitotóxicos, como o alumínio (Al). Além disso, o calcário é uma das principais fontes para o fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), dois importantes macronutrientes às plantas. Também são percebidos efeitos significativos na nutrição vegetal como um todo, em especial para os macronutrientes fósforo (P), nitrogênio (N) e enxofre (S), devido à melhora nos seus ciclos biogeoquímicos no solo e pelo condicionamento de um ambiente mais favorável à fixação biológica de N. Por outro lado, em caso de dose excessiva, poderá ocorrer também diminuição da disponibilidade de micronutrientes.

Para que esta técnica seja efetiva, um dos primeiros passos é a realização de uma amostragem representativa da área, seguindo os passos e procedimentos descritos nos manuais de calagem e adubação. Como a reação do calcário no solo é lenta, a sua aplicação deve preceder a semeadura da soja em três meses, sempre que possível. Dessa forma, considerando o tempo para a realização da análise, interpretação do laudo e aquisição do calcário, deve-se coletar o solo de quatro a cinco meses antes da semeadura. Em glebas sem histórico recente de aplicação de adubo em linha, o número de subamostras a serem coletadas para compor uma amostra de solo representativa da área deve ser de 10 a 20. No entanto, em glebas com histórico recente de aplicação de adubo em linha, cada subamostra deve representar a área de uma entrelinha até a outra, com coletas na linha e entre as linhas, para não haver superestimação ou subestimação da fertilidade do solo. Uma amostra de solo deve representar uma gleba ou área homogênea, sem variações significativas de textura, relevo, profundidade do perfil, bem como históricos de uso, adubação, calagem e manejo do solo.

Em lavouras sob sistema plantio direto (SPD) consolidado com produtividade adequada e sem impedimentos físicos ou químicos importantes na camada 10-20 cm, a amostragem do solo e interpretação da neces-

sidade de calagem é realizada apenas com o diagnóstico da camada superficial (0-10 cm). Nestas áreas, quando o solo está com $\text{pH} < 5,5$, saturação por bases $< 65\%$ e saturação por Al $\geq 10\%$ é recomendada a calagem, mas em quantidade equivalente a $\frac{1}{4}$ da dose recomendada pelo Índice SMP para elevar o pH até 6,0 na camada 0-20 cm (CQFS-RS/SC, 2016). Essa dose será suficiente para corrigir o dano causado pela acidez do solo no SPD consolidado, que tende a ser menor que em sistemas com revolvimento do solo, principalmente no que diz respeito à fitotoxidez do Al. Isto porque, a matéria orgânica acumulada no solo complexa o Al, inativando a sua ação tóxica para as plantas. Além disso, as perdas de Ca e Mg por erosão tendem a ser menores, pois há diminuição dos processos erosivos e aumento da ciclagem de nutrientes.

Para lavouras sob SPD onde a produtividade está abaixo do esperado (especialmente em anos de déficit hídrico), com plantas apresentando sistema radicular superficial e com indicativos de restrições no solo de ordem física e/ou de ordem química, é fortemente aconselhado a investigação e a amostragem também da camada de 10-20 cm. Caso a interpretação dos atributos desta camada seja de acidez elevada ($\text{pH} < 5,5$ e Al $\geq 30\%$), associada à disponibilidade de P abaixo do teor crítico, deve-se proceder a aplicação na quantidade inteira daquela recomendada pelo índice SMP para elevar o pH até 6,0 na camada 0-20 cm, indicada nas tabelas (CQFS-RS/SC, 2016), com posterior incorporação por lavração na camada 0-20 cm e gradagem. Essa ação é também chamada de "reinício do SPD" e pode ser uma situação comum em áreas onde o estabelecimento do SPD não foi bem realizado, conforme as recomendações técnicas (CQFS-RS/SC, 2016), e/ou a manutenção do SPD não seguiu todas as suas premissas, de mínima mobilização e cobertura constante do solo associadas à rotação espaço-temporal de culturas agrícolas. A correção da acidez do solo na camada 10-20 cm pode não resultar em aumento imediato de produtividade, mais irá promover maior estabilidade na produção, com menor probabilidade

de de perdas especialmente em anos com períodos de estiagem. Como medida complementar à incorporação mecânica de calcário, práticas conservacionistas devem ser adotadas imediatamente. Dentre elas, destaca-se o controle do fluxo de água (terraceamento, cultivo em nível, cordões vegetados) e a semeadura de plantas com alta taxa de crescimento e cobertura do solo.

Os calcários são os principais corretivos utilizados na correção da acidez do solo. Eles apresentam variação nas características químicas, de acordo com a jazida de onde são extraídos, das misturas e reações durante sua fabricação (medidas pelo poder de neutralização - PN), e físicas, em função do grau de moagem (medidas pela reatividade - RE). Essas características, juntas, conferem o poder relativo de neutralização total (PRNT) de cada corretivo da acidez, que nos calcários agrícolas deve ser de no mínimo 45%, conforme IN 35/2006 (SDA, 2006). Entretanto, todos os corretivos de acidez são, na sua essência, uma mistura em diferentes proporções dos produtos apresentados na Tabela 1 e, por isso, podem apresentar valor de PRNT maior do que 100%, desde que seja finamente moído (partículas menores que 0,3 mm).

Tabela 1. Corretivos da acidez do solo e seus valores de poder de neutralização (PN), que serão iguais ao seu poder relativo de neutralização total (PRNT) desde que esses produtos tenham sido finamente moídos (partículas menores que 0,3 mm).

Nome do produto	Fórmula química	PN (%)
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	100
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	119
Óxido de cálcio	CaO	179
Óxido de magnésio	MgO	248
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) ₂	135
Hidróxido de magnésio	Mg(OH) ₂	172
Silicato de cálcio	CaSiO ₃	86
Silicato de magnésio	MgSiO ₃	100

Fonte: Adaptado de Alcarde & Rodella (2003).

No mercado, existem produtos com promessa de ação mais rápida e localizada sobre a acidez do solo do que os calcários agrícolas comuns. Dentre eles, produtos compostos por óxidos e hidróxidos de Ca e Mg, que podem apresentar valores de PRNT próximos de 180% (Tabela 1), ou por escórias de silicato de cálcio beneficiadas, de maior solubilidade. Para facilitar sua aplicação, podem ser apresentados na forma farelada, granulada e/ou peletizada, o que facilita seu manuseio e uso nas semeadoras/adubadoras. Porém, embora sejam de ação rápida, as quantidades recomendadas pelas empresas são muito menores (200 a 300 kg ha⁻¹) que aquelas necessárias para a correção efetiva da acidez, resultando assim em efeito localizado apenas à linha de semeadura. Tais produtos tendem a ser mais caros, podendo atingir valores maiores que R\$ 1.000,00/t, e que nas doses indicadas não passam de uma solução temporária e paliativa, com necessidade de reaplicação a cada nova semeadura, o que eleva ainda mais seu custo. Além disso, em estudo que investigou essa questão no longo prazo, Fontoura et al. (2019) demonstraram que o valor do PRNT do calcário influencia pouco na produtividade das culturas, mas que o solo tende a se reacidificar mais rapidamente quando usado calcário de PRNT elevado.

Vale destacar que a escolha do corretivo da acidez do solo deve considerar, especialmente, o custo por tonelada de PRNT 100% aplicado na lavoura. Para isso, basta somar os custos da aquisição do produto, transporte e da operação da aplicação, por tonelada, dividindo o total pelo seu PRNT. Por exemplo, um calcário com PRNT 75% ao valor de R\$ 150,00/t terá custo final de R\$ 200,00/t de PRNT 100%. Por outro lado, um produto de PRNT 175%, ao valor de R\$ 1.050,00/t, terá custo final de R\$ 200,00/t de PRNT 100%. Além disso, nos tempos atuais, em que a maioria dos produtores busca maximizar o rendimento operacional da semeadura, chegando até a eliminar as caixas de adubo das semeadoras (assunto abordado em outro tópico), adicionar corretivo de acidez do solo na linha de semeadura não se configura,

na maioria das vezes, como uma alternativa operacional interessante.

Dessa forma, a escolha por corretivos da acidez do solo com valores de PRNT elevados e de maior solubilidade que os calcários, aplicados direto na linha de semeadura, não costumam ser alternativas de custo/benefício favorável, salvo em casos muito específicos. Por isso, deve-se sempre estar atento às pressões comerciais, buscando as opções de melhor custo/benefício ao produtor rural e ao seu sistema de produção.

Uso do gesso agrícola em solos em plantio direto para cultivo da soja

O gesso agrícola (CaSO_4) utilizado no Brasil é um subproduto da indústria de fertilizante fosfatado. Seu uso em áreas cultivadas com a cultura da soja tem aumentado significativamente nos últimos anos. A grande difusão do uso desse condicionador de solo ocorreu devido ao seu preço atrativo e por dois motivos agrônômicos: (i) por se tratar de um insumo que atua na mitigação da toxidez do Al^{3+} trocável em subsuperfície e, (ii) por também ser uma fonte de Ca^{2+} e S, ambos macronutrientes às plantas. Contudo, em muitas regiões do Brasil, o preço desse insumo tem aumentado significativamente e, por isso, é necessário estabelecer as condições onde existe alta probabilidade de resposta positiva da soja ao uso do gesso e qual o incremento médio obtido. Além disso, é necessário definir a dose adequada a ser aplicada, visando maximizar a produtividade e evitar custos desnecessários ao produtor. Dessa forma, vamos abordar propostas de recomendação de gesso agrícola para a soja com dois objetivos distintos: (i) como mitigador da toxidez por Al em subsuperfície e, (ii) como fonte de S.

- Uso do gesso agrícola como mitigador da toxidez por Al em subsuperfície

A acidez é um dos principais fatores que restringem a produtividade da soja em solos brasileiros. A alta saturação por Al reduz a absorção de cátions básicos

como o Ca e Mg trocáveis e, por consequência, limita o desenvolvimento radicular das plantas, comprometendo a absorção de outros nutrientes, o aproveitamento da água disponível e a produtividade da soja.

A calagem é a prática mais difundida para correção da acidez do solo, contudo, devido à baixa solubilidade do calcário, a calagem nem sempre é eficiente na correção da acidez em subsuperfície (abaixo de 20 cm de profundidade), principalmente em solos sob SPD, em que o calcário é aplicado superficialmente e em solos com baixos teores de matéria orgânica, compactados e degradados. Esse problema é agravado quando o SPD é implantado em áreas sem a correção prévia da acidez em profundidade, resultando em alta saturação por Al^{3+} e baixa concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis logo abaixo de 10 cm de profundidade.

Uma alternativa para diminuir a toxidez por Al em subsuperfície em áreas de SPD é o uso do gesso agrícola, pois apresenta solubilidade aproximadamente 150 vezes superior ao calcário. Isso resulta numa alta mobilidade de cátions básicos (como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) associados, principalmente, ao ânion sulfato (SO_4^{2-}) da superfície para camadas mais profundas do solo (TIECHER et al., 2019). O incremento de bases em profundidade promove a redução da atividade e da toxicidade do Al^{3+} trocável, possibilitando o aprofundamento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, melhora o aproveitamento de água e nutrientes.

A resposta da soja à aplicação de gesso agrícola reportada na literatura tem sido amplamente variável, ocorrendo desde substanciais incrementos, ausência de efeito, até reduções em produtividade. Dessa forma, o uso do gesso não deve ser indiscriminado, mas sim com base em um posicionamento técnico. Recentemente, Pias et al. (2020) realizaram uma meta-análise do efeito do uso do gesso agrícola em plantio direto na América Latina, contemplando 129 safras de culturas de grãos e conseguiram estabelecer claramente as condições em que podemos esperar resposta da soja à aplicação de gesso agrícola. Nesse estudo ficou claro que a camada

diagnóstica para tomada de decisão da aplicação ou não de gesso agrícola é a de 20-40 cm e que o principal indicador para a tomada de decisão é a saturação por Al. Além disso, esse estudo demonstrou que a resposta da soja à aplicação de gesso depende da presença de deficiência hídrica durante o ciclo de cultivo.

Na ausência de deficiência hídrica, a soja responde positivamente ao gesso (probabilidade de 40%) somente em solos com teor de Ca^{2+} trocável menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação por Al superior a 40% na camada de 20-40 cm (Figura 1), sendo a média de incremento no rendimento de grãos de 5%. A condição ideal de disponibilidade hídrica pode ser o caso de lavouras de soja com irrigação. Por outro lado, em sistemas de sequeiro, seria mais prudente utilizar o nível crítico para condições de deficiência hídrica, devido ao histórico de estiagens que ocorrem especialmente na região Sul do Brasil. Nesse caso, a soja responde a aplicação de gesso quando a saturação por Al é maior do que 10% e o teor de Ca^{2+} trocável menor que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 20-40 cm. Havendo nesses casos, uma probabilidade de resposta positiva de 97% e um incremento médio no rendimento de 12%.

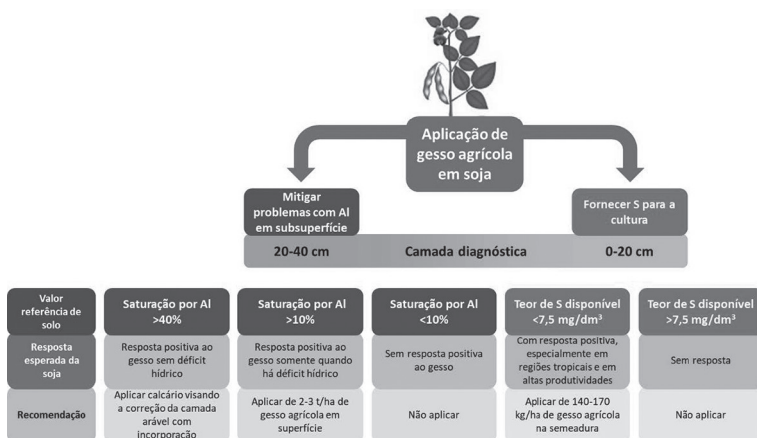


Figura 1. Sugestão de manejo do gesso agrícola como condicionador de solos ácidos e como fonte de enxofre para a cultura da soja em sistema de plantio direto.

Quando o diagnóstico feito via análise do solo na camada de 20-40 cm demonstra que existe alta saturação por Al, a aplicação de gesso com doses entre 2,0 a 3,0 ton ha⁻¹ são suficientes para obter produtividade em torno de 95% do rendimento máximo da cultura (Figura 1). Quando se objetiva a obtenção da produtividade máxima, doses de até a 6 ton ha⁻¹ podem ser utilizadas e garantem também um maior efeito residual no solo. Contudo, mesmo havendo diagnóstico de alta saturação por Al em subsuperfície, deve-se tomar cuidado com aplicação dessas altas doses quando os teores de Mg trocável na camada superficial são baixos, pois nesses casos, a aplicação grande quantidade de Ca via gesso pode induzir a deficiência de Mg.

Ainda sobre a dose recomendada é importante destacar também que nos estudos avaliados, na grande maioria dos casos, a dose de máxima eficiência econômica não apresentou boa relação com as doses de gesso calculadas utilizando o teor de argila, como é utilizado no Cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004) e no Paraná (PAULETTI & MOTTA, 2019), tampouco com o teor/saturação por Ca (CAIRES & GUIMARÃES, 2018).

Deve-se ressaltar que os níveis críticos para tomada de decisão e de recomendação da dose aplicada indicadas nos estudos de Tiecher et al. (2018) e Pias et al. (2020) foram baseados em trabalhos realizados majoritariamente em Latossolos (>96%). Portanto, ainda existe grande incerteza sobre a recomendação de gesso para mitigar problemas com excesso de Al, em subsuperfície em ambientes diferentes desses, tais como solos muito arenosos (<10% argila) e com baixa CTC (<7 cmol_c dm⁻³), bem como em solos de terras baixas, como no caso da expansão do cultivo da soja em áreas de cultivo de arroz irrigado no RS.

Apesar dos efeitos da gessagem na produtividade da soja geralmente aumentarem com o aumento da saturação por Al em subsuperfície, estudos tem mostrado que em solos com acidez subsuperficial muito elevada

(saturação por Al >40%), o efeito do gesso agrícola não é suficiente para proporcionar um bom ambiente para o desenvolvimento radicular das plantas (Figura 1). Isso ocorre porque a saturação por Al é mantida elevada e com isso mantem-se o comprometimento do potencial produtivo da soja e de outras culturas. Essa situação é comum quando o plantio direto foi iniciado de forma inadequada, sem a correção da acidez no perfil do solo. Outro aspecto importante é que mesmo apresentando alta solubilidade, o potencial do gesso em alterar propriedades químicas do solo em profundidade pode ser limitado em solos compactados, devido ao impedimento do fluxo de água em profundidade no solo. Por isso, quando a saturação por Al do subsolo é muito alta e/ou há limitação física, recomenda-se reiniciar o SPD a partir de uma aplicação de calcário incorporado, visando aumentar o pH até 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016).

Cabe salientar que a aplicação de gesso em solos com saturação por Al <5% pode causar efeito adverso na produtividade das culturas, especialmente quando da utilização de altas doses de gesso em solos arenosos e com baixa CTC. O efeito negativo do gesso na produção de grãos de soja em solos com baixa saturação por Al na camada de 20-40 cm ocorre devido a competição do Ca^{2+} trocável com outros cátions na CTC do solo, resultando em maiores perdas por lixiviação de Mg^{2+} e potássio (K^{+}) trocáveis, induzindo a deficiência desses nutrientes em superfície. Inclusive em solos argilosos (>60% argila) existem relatos na literatura que demonstram que doses de gesso maior que 9 ton ha^{-1} podem diminuir a produtividade da soja. Uma estratégia eficiente para reduzir os efeitos indesejáveis do gesso (deficiência induzida por Mg^{2+} na superfície do solo) é a aplicação prévia de calcário dolomítico.

- Uso do gesso como fonte de enxofre para a soja

A deficiência de S em solos agrícolas tem se tornado mais comum nas últimas décadas devido a uma

série de fatores como: uso de fertilizantes concentrados com ausência de S em sua composição, redução da deposição atmosférica de S, redução dos teores de matéria orgânica do solo, aumento do potencial produtivo das culturas, entre outros. O gesso agrícola é uma excelente fonte de S, contendo em média 15-18% de S. Por isso, muitas vezes, quando não existe problema de alta saturação por Al em subsuperfície (20-40 cm), o incremento na produtividade da soja pode ocorrer devido à melhoria no fornecimento de S às plantas. Nesses casos, a resposta da soja é inclusive observada em doses baixas de gesso.

No Brasil, existem diversas recomendações oficiais para adubação sulfatada na soja. Todas elas utilizam a análise de $S-SO_4^{2-}$ disponível (S extraído com solução contendo fosfato de Ca), como base para a tomada de decisão de aplicação ou não de fertilizantes sulfatados. Contudo, existem algumas diferenças entre as recomendações, especialmente quanto ao valor do nível crítico, camada de solo diagnóstica e dose de S recomendada.

De acordo com o estudo de Pias et al. (2019), o teor de S na folha da soja não apresentou boa relação com a produtividade de grãos, o que está relacionado com a baixa mobilidade do nutriente na própria planta e a ocorrência de absorção de luxo do nutriente pelas plantas. O melhor diagnóstico, portanto, é feito via análise de solo. Pias et al. (2019) conseguiram fazer uma avaliação conjunta de todos os estudos disponíveis na literatura avaliando a resposta das culturas de grãos ao S em sistema plantio direto no Brasil. A soja apresentou resposta positiva ao S em 35% das safras avaliadas, incrementando em média 16% o rendimento de grãos. Verificou-se que o teor crítico de $S-SO_4^{2-}$ disponível para a cultura é de 7,5 mg dm^{-3} na camada de 0-20 cm, e de 8,5 mg/ dm^3 na camada de 20-40 cm. Além disso, em solos deficientes em S foi observado maior probabilidade de resposta positiva ao S em clima tropical (95%) do que no clima subtropical (22%) e, especialmente, quan-

do os níveis de produtividade são altos, *i.e.*, maior que 30% da média nacional. Isso é justificado porque a principal reserva de S no solo é a matéria orgânica, sendo que ambientes com clima mais quente, como o tropical, os solos tendem a apresentar menores teores de matéria orgânica que em solos subtropicais. Além disso, quando a produtividade da cultura é alta, existe maior demanda pelo nutriente.

Em solos com teores de $S-SO_4^{2-}$ disponível acima do nível crítico não há resposta com aplicação de S nas culturas de uma maneira geral. Por outro lado, quando o teor de $S-SO_4^{2-}$ disponível está abaixo do nível crítico, a dose de máxima eficiência econômica é de aproximadamente 25 kg ha^{-1} de S (PIAS et al., 2019). No caso da soja, essa dose seria suficiente para repor a quantidade de S exportada numa colheita de aproximadamente 8 a 9 ton ha^{-1} de grãos. Essa dose de S corresponde a uma aplicação de aproximadamente $140-170 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso agrícola. Contudo, é importante ressaltar que devido à alta mobilidade do SO_4^{2-} no solo, especialmente quando ele é aplicado juntamente com o Ca^{2+} , como no gesso agrícola, existe um efeito residual muito curto da aplicação de doses baixas. Além disso, o incremento nos teores de sulfato nas camadas superficiais (acima de 20 cm), diminui rapidamente logo após as primeiras chuvas após sua aplicação no solo (TIECHER et al., 2019).

Adubação nitrogenada em soja

O N é um dos nutrientes mais requeridos para a produção de soja, sendo necessários aproximadamente 80 kg por tonelada de grãos produzidos (65 kg alocados nos grãos e 15 kg na parte vegetativa, incluindo as raízes) (HUNGRIA & MENDES, 2015). Essa alta demanda é suprida basicamente por duas fontes: fixação biológica de N (FBN) e mineralização da matéria orgânica do solo (CIAMPITTI & SALVAGIOTTI, 2018). Neste sentido, a cultura da soja dispensa a adubação nitrogenada, o que tornam menores os custos ambientais da sua produção,

além de assegurar a viabilidade econômica do seu cultivo no país.

Recentemente, têm surgido questionamentos quanto à capacidade da FBN em atender as exigências em N para garantir altas produtividades na cultura da soja. Com isso, induz um raciocínio que a soja deve receber adubação nitrogenada mineral suplementar, visando suprir uma suposta deficiência da simbiose microrganismo-planta ou pelos baixos teores de matéria orgânica do solo. O fornecimento de N via adubação para a soja pode ser importante em condições em que o suprimento de N mineral pode ser escasso, como em condições de baixo teor de matéria orgânica do solo (DADSON & ACQUAAH, 1984), e quando as condições edafoclimáticas (pH do solo, temperatura, umidade, etc...) comprometam o estabelecimento da simbiose entre o rizóbio e a planta. Por outro lado, em condição de adequado suprimento de N mineral pelo solo, a adubação nitrogenada pode impedir a infecção das raízes de soja pelos rizóbios, reduzir o crescimento dos nódulos ou, após a formação dos nódulos, inibir a atividade da enzima nitrogenase (STREETER & WONG, 1988). O alto suprimento de N mineral pode, então, reduzir a contribuição da FBN para o suprimento de N para a soja (SCHIPANSKI et al., 2010).

Os resultados das pesquisas com aplicação de N via fertilizante para a soja são contraditórios, sendo encontradas respostas de rendimento de grãos em alguns casos (ex.: BOROOMANDAN et al., 2009; GAI & ZHANG; LI, 2017; OSBORNE & RIEDELL, 2006) e ausência em outros (ex.: AMBROSINI et al., 2019; BALBINOT JUNIOR et al., 2016; HUNGRIA et al., 2006; JOSIPOVIĆ et al., 2011; KAMARA et al., 2012). Em estudos com resposta de rendimento à adubação nitrogenada no Brasil, nos quais a viabilidade econômica foi avaliada, verificou-se que os ganhos com o aumento de produtividade não foram suficientes para cobrir os custos do fertilizante (MENDES et al., 2008; PETTER et al., 2012). Outros estudos conduzidos têm demonstrado que o incremento

de produtividade pela adubação nitrogenada pode vir a ocorrer em condições específicas, onde a nodulação é prejudicada. De acordo com Cordeiro & Echer (2019), em um estudo recente realizado em solos de pastagens degradadas [arenosos, ácidos, de baixa fertilidade (especialmente com baixa matéria orgânica e teor de fósforo inferior a 10 mg dm^{-3})], onde não havia inóculo inicial, a aplicação de doses moderadas de N, combinadas com altas doses de inoculantes apresentou resultados positivos no rendimento de grãos. Resultados semelhantes já foram observados em condições de déficit hídrico, onde o suprimento de N é importante devido a sensibilidade dos rizóbios à seca (KUBOTA & HOSHIBA; BORDON, 2008; PURCELL & KING, 1996). Portanto, de acordo com estes estudos, a adubação nitrogenada só seria viável em condições em que a FBN é prejudicada por algum fator limitante.

Mesmo que, de maneira geral, os estudos tenham demonstrado que a adubação nitrogenada em soja não seja viável, nos últimos anos tem havido um grande incentivo para que se realize a aplicação de N em soja. Isso tem acontecido porque, tanto o rendimento de grãos, quanto a demanda por N em soja têm aumentado ao longo dos anos (BALBOA et al., 2018), gerando dúvidas quanto à capacidade da FBN e da mineralização da matéria orgânica do solo, em suprir toda a demanda da planta pelo N (SALVAGIOTTI et al., 2008). O reservatório de N na matéria orgânica do solo é de extrema importância para os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura da soja, fase em que o processo de formação dos nódulos estão ocorrendo na cultura. Nesta etapa, a mineralização da matéria orgânica é a principal fonte de N para a soja até que o sistema simbiote se estabeleça. O processo simbiótico é responsável por cerca de 60% da acumulação total de N pela cultura, mas podendo chegar até a 98% em algumas situações (CIAMPITTI & SALVAGIOTTI, 2018). O restante é fornecido pela matéria orgânica do solo ou pelo N adicionado na semeadura, desde

que em quantidades inferiores a 20 kg de N por hectare. Em estudo realizado por Ambrosini et al. (2019), no qual foram obtidos rendimentos de 4000 até mais de 6000 kg ha⁻¹ de grãos, a produtividade da soja esteve associada ao teor de matéria orgânica do solo e à contribuição da FBN no suprimento de N para a soja. Sendo assim, a chave para evitar restrições nitrogenadas e aumentar o rendimento de grãos de soja de forma sustentável é promover condições favoráveis a FBN e aumentar o teor matéria orgânica do solo, através da adoção de práticas de manejo conservacionistas, que contribui com a melhoria das qualidades químicas, físicas e biológicas do solo, potencializado o processo de fixação biológica de nitrogênio na soja.

Manejo da adubação fosfatada e potássica em soja

O manejo da adubação pressupõe a definição da dose, o modo e o momento de aplicação do nutriente, assim como o produto a ser utilizado. No que se refere a dose, as recomendações oficiais de adubação fosfatada e potássica para os estados do RS e SC seguem a lógica da relação entre os teores de P e K "disponíveis", estimados pela análise do solo após extraídos por Mehlich-1, e a probabilidade de resposta da soja (CQFS-RS/SC, 2016). Esta relação foi obtida a partir de grande número de experimentos conduzidos em diversos locais e ao longo das últimas décadas, as chamadas curvas de calibração, a partir das quais foram definidos os "teores críticos" destes nutrientes no solo. Tais teores sinalizam promover produtividades equivalentes a 90% do máximo rendimento da cultura, condizentes com a máxima eficiência econômica da adubação. Desta forma, quando os teores de P e K no solo estiverem acima dos teores críticos, estima-se muito baixa ou mesmo nula probabilidade de resposta econômica à adição de fertilizantes fosfatados e potássicos.

Quando os resultados da análise de solo indicam concentração de P e K acima do teor crítico, enquadradas

como classes de disponibilidade Alto e Muito Alto (esta quando superar duas vezes o teor crítico), a estratégia para definição da dose destes nutrientes segue, respectivamente, as lógicas: (i) da manutenção da fertilidade do solo, na classe Alto, com aplicação de quantidades proporcionais à exportação dos nutrientes pela colheita dos grãos, mais um adicional para compensar eventuais perdas (decorrentes principalmente da erosão); ou (ii) aproveitar o estoque do solo, quando na classe Muito Alto, adicionando apenas a exportação, ou menos do que isto, ou até mesmo não aplicar o nutriente. Esta última promove uma diminuição gradual nos teores de P e K no solo e, por isso, deverá ser adotada somente quando os teores no solo estiverem na classe Muito Alto, sendo que, ao longo do tempo, irá se aproximar da classe de disponibilidade Alto (CQFS-RS/SC, 2016).

Quando os teores de P ou K estiverem abaixo do teor crítico, as quantidades do nutriente devem envolver, além da compensação pela exportação mais perdas, uma quantidade necessária para elevar a disponibilidade do nutriente no solo até acima do teor crítico (ou até a classe Alto), estratégia conhecida por "correção". Como abaixo do teor crítico há três classes de disponibilidade (Muito Baixo, Baixo e Médio), a dose do fertilizante fosfatado e/ou potássico para a adubação de correção irá variar de acordo com a classificação, sendo maior a dose quanto menor a disponibilidade do nutriente no solo. Para detalhamento das doses de P_2O_5 e K_2O para a cultura da soja, verificar o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), páginas 130 e 131.

No que se refere ao modo e o momento da adubação, é importante considerar se há ou não necessidade de se fazer a correção da disponibilidade de P e K no solo. Quando esta correção é necessária e as doses são elevadas, aliada à necessidade de correção da acidez mediante incorporação de calcário, pode-se optar por também aplicar toda a dose recomendada do ferti-

lizante à lanço e incorporar na camada 0-20 cm, junto com as operações de aração e gradagem, utilizadas para a calagem. Quando as doses de correção de P e K são baixas e não há a expectativa de se mobilizar o solo, a dose corretiva pode ser dividida em dois cultivos, sendo aplicada preferencialmente na linha de semeadura para uma maior eficiência do fertilizante aplicado.

A definição do modo da adubação pode interferir diretamente na eficiência da adubação e na produtividade da soja. Assim, ressaltamos a necessidade de “enterrar” os nutrientes no solo, a fim de favorecer o desenvolvimento do sistema radicular em camadas mais profundas do perfil do solo, possibilitando uma maior aquisição de água e nutrientes. Exemplo disso é o trabalho de Belinaso (2019), no qual a produtividade da soja foi significativamente maior em áreas onde o fertilizante fosfatado foi incorporado ao solo, seja via aração e gradagem ou na linha de semeadura, quando comparado com aplicação superficial sem revolvimento. Esse efeito foi verificado tanto na aplicação de fertilizante fosfatado associada com aplicação de calcário incorporado como na aplicação de calcário em superfície (Figura 2). A aplicação de P em superfície, muito utilizada por sojicultores do Cerrado Brasileiro, pode favorecer a distribuição espacial do P na superfície e a operacionalidade da semeadura, mas limita sua distribuição vertical nos primeiros centímetros do perfil de solo. Isso poderá limitar também o crescimento radicular das plantas e colaborar para a perda de P por escoamento superficial, associado ao carreamento de partículas, favorecendo a eutrofização das águas (FISCHER et al., 2018).

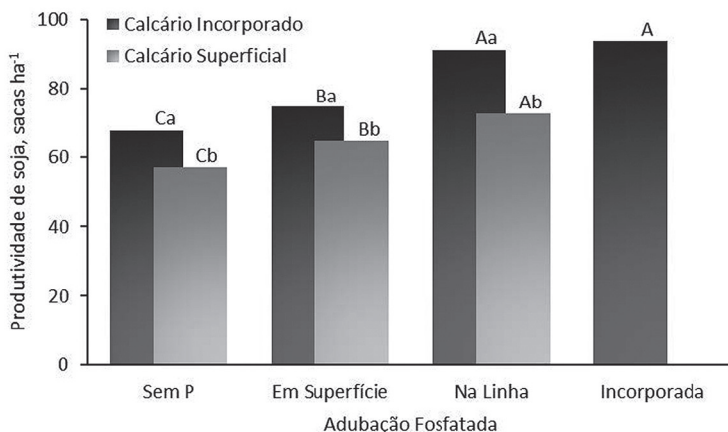


Figura 2. Produtividade de grãos de soja em função do modo de aplicação da adubação fosfatada no solo de áreas sob diferentes estratégias de calagem. * Letras maiúsculas comparam os efeitos dos modos de adubação fosfatada para cada estratégia de calagem e letras minúsculas comparam o efeito da estratégia de calagem em cada modo de adubação fosfatada. Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si no teste de Tukey $p < 0,1$. Fonte: Adaptado de Belinaso (2019).

Nos últimos anos também vem sendo evidenciada outra estratégia de adubação, conhecida por “adubação de sistema”, na qual os fertilizantes de manutenção de P e K para soja seriam aplicados no período de inverno, associados ou não a outro cultivo. Isso facilitaria a operacionalidade da semeadura da soja, sem a necessidade de realizar a adubação conjunta, mas permitindo também que o fertilizante seja aplicado antecipadamente na linha de semeadura de uma planta de cobertura com reduzido espaçamento, como exemplo de um cultivo de inverno precedente a soja. Entretanto, cabe salientar que essa estratégia deve ser utilizada preferencialmente quando a disponibilidade dos nutrientes no solo está acima dos níveis críticos, condição em que a produtividade da cultura é menos dependente do nutriente aplicado com a adubação (esta tem a função maior de repor o que será exportado/perdido pela colheita da cultura). Isso porque, após a aplicação e dissolução do fertilizante,

ocorre a adsorção dos íons fosfato aos grupos funcionais de superfície das partículas reativas do solo, como óxidos de Fe e Al, sendo que há um aumento da estabilidade eletrônica da ligação com o passar do tempo. Tal efeito reduz a disponibilidade do P aplicado no inverno às plantas de soja, em comparação àquele ofertado durante a semeadura da própria soja, diminuindo a eficiência do fertilizante adicionado. Já para os casos em que a disponibilidade do nutriente se encontra abaixo do teor crítico e há necessidade de correção, uma opção é aplicar no cultivo de uma planta de cobertura de inverno precedendo a soja apenas a dose de correção de P, mantendo a dose de manutenção (ou pelo menos parte dela) na semeadura da soja. Isso garante a aplicação de uma quantidade de P mais próximo das raízes da soja e com menor tempo de contato com o solo, sendo ainda favorável à melhor operacionalidade da semeadura da cultura, tendo em vista que a quantidade de P ou K aplicados junto com a semeadura será menor.

Por fim, a escolha dos fertilizantes pressupõe o conhecimento das formas e concentrações de P_2O_5 e K_2O dos fertilizantes disponíveis no mercado e qual sua eficiência em cada cenário de recomendação. Para isso, é importante que a recomendação seja feita por um profissional habilitado.

Eficiência de absorção de nutrientes em cultivares da soja

O custo com fertilizantes é responsável por cerca de 30 à 40% do custo total da lavouras de soja. Parte disso, é decorrente da baixa eficiência na de recuperação dos fertilizantes aplicados. Estima-se que a eficiência de recuperação das culturas seja inferior a 10% para fertilizantes fosfatados e cerca de 40% para adubos potássicos (BALIGAR & FAGERIA, 2015).

O acúmulo de nutrientes na cultura da soja é amplamente influenciado pelo estágio fenológico e a produção de massa seca da planta, o qual ocorre em três fases distintas: (i) uma baixa taxa de aquisição por aproxima-

damente 30 dias após a emergência, (ii) taxas máximas de absorção de nutrientes entre a floração (R2) e o início do enchimento de grãos (R5) e (iii) taxas reduzidas de acúmulo de nutrientes durante o crescimento reprodutivo tardio, ou seja, na maturação das sementes (BENDER et al., 2015). A necessidade nutricional média para a cultura da soja é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de nutrientes absorvidos e extraídos para produzir uma tonelada de grãos e índice de colheita (IC) (porcentagem da absorção total de nutrientes presentes no grão) na maturidade fisiológica cultura da soja. Os valores médios são seguidos pelo desvio padrão.

Nutriente	Total absorvido	Extraído (grãos)	IC
	Kg tonelada ⁻¹		%
N	81,6 ± 6	58,9 ± 3,4	72 ± 2,9
P ₂ O ₅	14,6 ± 1,2	11,5 ± 0,8	80 ± 3,1
K ₂ O	52 ± 5,7	22,7 ± 1	45 ± 4,2
Ca	34,5 ± 5,1	2,8 ± 0,1	9 ± 1,4
Mg	15,2 ± 2,2	2,6 ± 0,1	18 ± 2,2
S	5,7 ± 0,5	3,4 ± 0,2	63 ± 3,8

Fonte: Adaptado de Bender et al. (2015).

A intensidade, facilidade e eficiência com que os nutrientes são absorvidos por diferentes genótipos, em ambientes com baixa ou alta disponibilidade de nutrientes pode variar grandemente. A maior eficiência de determinado genótipo está relacionada à maior capacidade deste em absorver e/ou usar os nutrientes disponíveis no solo em condições adversas (MARSCHNER, 2012). A eficiência de absorção dos nutrientes minerais pelo sistema radicular está relacionada com dois fatores primordiais: (i) a aquisição dos nutrientes disponíveis no solo, pela variação na morfologia radicular, número de transportadores e associação com micorrizas; e (ii) o aumento da disponibilidade dos nutrientes no solo, como pela fixação biológica.

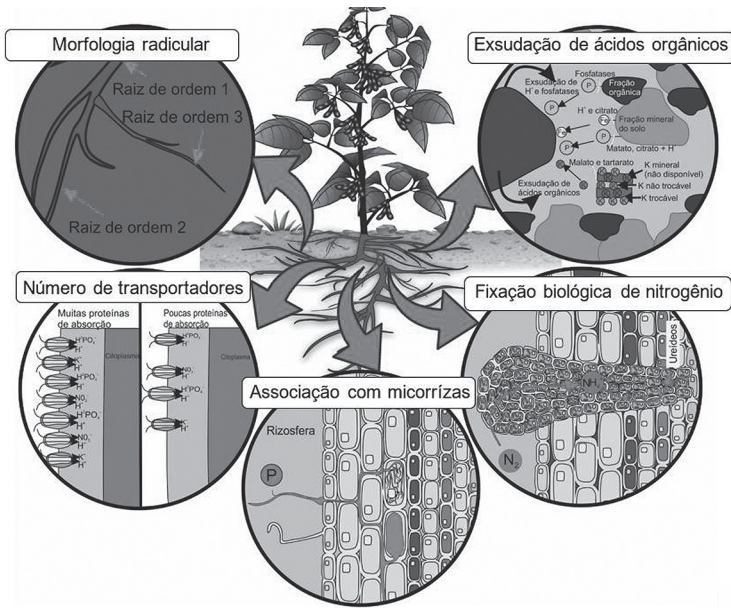


Figura 3. Mecanismos utilizados por plantas para aumentar a eficiência de disponibilidade de nutrientes. Ilustração: Anderson Marques (2020).

A absorção de nutrientes tende a ser maior em raízes com maior comprimento e menor espessura, como por exemplo, raízes de ordem 3 (Figura 3), pois esses atributos permitem que um maior volume de solo seja explorado. Plantas cultivadas em ambientes com deficiência de nutrientes, como o P, comumente apresentam aumento na área superficial radicular, através da formação de raízes finas e pelos radiculares (LYNCH, 2011; NESTLER et al., 2016). Cultivares de soja que apresentem arquitetura do sistema radicular mais superficial apresentam maior eficiência de absorção de nutrientes (ZHAO, 2004). Possivelmente essa seja uma adaptação evolutiva, em resposta ao aumento das concentrações de nutrientes nas camadas superficiais do solo, decorrente da deposição de restos vegetais e da fertilização. Além disso, a maior eficiência da absorção de nutrientes de baixa mobilidade, como o P, passa pela interação com

microrganismos que podem solubilizam e/ou mineralizam P, em especial os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Os FMAs podem ser inoculados em plantas possibilitando maior mobilização e eficiência de utilização do P presente no solo. Recentemente a inoculação com *Glomus intraradices* tem aumentado em 16% a produtividade de lavouras de soja (MEGHVANSI & MAHNA, 2009). A FBN é outro exemplo de simbiose entre a plantas e microrganismos, com grande importância na nutrição da soja, conforme apresentado anteriormente.

A baixa disponibilidade de nutrientes no solo pode induzir uma série de alterações na rizosfera das plantas, dentre elas, a exsudação de ácidos orgânicos (como malato, citrato, oxalato, etc...) e enzimas (como as fosfatases) que podem mobilizar nutrientes de compartimentos minerais e orgânicos (Figura 3). A exsudação de ácidos orgânicos e H^+ pode aumentar a disponibilidade de P, ao mobilizar formas de P mineral moderadamente solúveis, enquanto que a liberação de fosfatase na rizosfera potencializa a liberação de formas de P orgânico. Além disso, plantas que liberam ácidos orgânicos, conseguem mobilizar mais K^+ no solo, pela solubilização de parte do K não trocável. Por sua vez, a exsudação de íons H^+ e citrato pode ser um importante mecanismo para a solubilização de óxidos de Fe, compensando a baixa disponibilidade do elemento em solos calcários. Existe uma diversidade de mecanismos de adaptação das plantas eficientes em condições de baixa disponibilidade de nutrientes, que ainda precisam ser melhor compreendidos e dimensionadas, bem como explorados em programas de melhoramento. Desenvolver materiais mais eficientes na absorção e uso de nutrientes é primordial para manter o patamar produtivo em condições de baixa disponibilidade de nutrientes, bem como alcançar uma agricultura mais sustentável e menos dependente de fertilizantes químicos, que em sua maioria são oriundos de fontes finitas.

Adubação foliar em soja mecanismos de absorção e respostas da planta

As raízes são o principal órgão de absorção de nutrientes, entretanto, em algumas situações a nutrição da cultura da soja pode ser complementada através da adubação foliar. A utilização desta prática visa a correção imediata de sintomas de deficiência ou para suplementar a baixa disponibilidade de nutrientes no solo. Como as quantidades absorvidas através das folhas são pequenas, quando comparadas ao sistema radicular, a prática de adubação foliar é voltada principalmente para micronutrientes e elementos benéficos, com destaque para o cobalto (Co) e molibdênio (Mo), que atuam na FBN da soja. Além da maior velocidade de absorção dos nutrientes, a pulverização foliar permite distribuir de forma uniforme pequenas dosagens, o que é operacionalmente muito difícil na forma sólida. Contudo, a adubação foliar não deve ser considerada como substitutiva da adubação via solo, principalmente para os macronutrientes, o que exigiria um grande número de aplicações para atender às exigências das plantas e tornaria a prática inviável.

A absorção foliar de íons é obrigatoriamente cuticular, devido ao revestimento da superfície foliar, inclusive a câmara sub-estomática. A cutícula é permeável à difusão de cátions e ânions, mais no sentido de fora para dentro (influxo) do que o contrário (efluxo). Com relação a isso, a absorção foliar é um fenômeno tão complexo quanto a absorção via solo, pois depende da disponibilidade da umidade relativa do ar, luz, temperatura, vento e umidade do solo. A umidade relativa do ar interfere na absorção de micronutrientes aplicados de forma foliar, pois a elevada umidade do ar mantém a cutícula hidratada, impedindo a evaporação da solução aplicada, permanecendo por mais tempo na superfície da folha, resultando em uma melhor distribuição sobre a superfície da folha, impedindo o acúmulo de solutos externamente a folha e aumentando a possibilidade dos processos simplásticos e apoplásticos de absorção (WITTEW & TEUBNER, 1959).

A presença de boa disponibilidade luminosa é essencial para eficiência da adubação foliar, pois a absorção iônica e assimilação dependem de processos com alta demanda de energia nas células (ex. ATP e NADH), além de favorecer a translocação dos nutrientes móveis. Portanto, maior intensidade luminosa resulta em maior absorção de nutrientes pelas folhas, enquanto que baixa luminosidade pode reduzir a eficiência do processo. Temperatura para absorção de micronutrientes via foliar fica entre 22 a 30°C, portanto as pulverizações devem ser realizadas nos períodos de menor insolação e temperaturas mais amenas. Aliado a isso, ventos acima de 5 km h⁻¹, além de reduzir a qualidade da aplicação também interferem no período de duração da gota sobre a superfície foliar, reduzindo o tempo de molhamento e causando acúmulo de soluto sobre a folha, que aliado a alta temperatura e baixa umidade do ar podem potencializar sintomas de fitotoxidez (MARCHNER, 2012).

A disponibilidade de água no solo interfere de forma contínua na absorção de nutrientes via folhas, pois em condições de boa disponibilidade de água a transpiração permite a formação de uma corrente d'água, que se estende desde as folhas mais velhas até as folhas mais novas, criando também um fluxo de água através dos espaços entre as células da epiderme onde se encontram os locais de absorção dos micronutrientes, criando uma corrente transpiratória, que leva os nutrientes pulverizados sobre a superfície da folha para o seu interior. Neste sentido, o uso de agentes molhantes ou adesivos (surfactantes) auxilia para romper a tensão superficial da gotícula e da cutícula, promovendo melhor molhamento da superfície foliar, redução da evaporação da água da solução e apresentam uma melhor penetração no tecido foliar.

É importante que os fertilizantes foliares sejam produtos quelatizados, reduzindo a reatividade dos cátions divalentes no tanque de dissolução do fertilizante, ou então nos grupos carboxílicos (-COO⁻) da pare-

de celular das células da epiderme e parênquimas, que possuem cargas negativas e reduzem a mobilidade dos micronutrientes para o simplasto. Assim, a quelatção do elemento reduz a interação química com outros nutrientes ou pesticidas de carga oposta, que estão sendo aplicados concomitantemente. O N na na formulação dos fertilizantes foliares age como veículo, carregando os íons de micronutrientes para dentro da planta, especialmente pela sua alta velocidade de absorção (Tabela 3).

Tabela 3. Tempo estimado para a absorção foliar de alguns nutrientes e sua mobilidade no floema.

Nutriente	Tempo requerido para 50% de absorção ^a	Mobilidade ^b
N	1 a 36 h	Alta
P	30 h a 15 dias	Alta
K	1 a 4 dias	Alta
Ca	4 dias	Baixa
Mg	20% em 1h	Alta
S	8 dias	Alta
Cl	1 a 2 dias	Alta
Fe	8% em 24h	Intermediária
Mn	24 a 48 h	Baixa
Zn	24h	Intermediária
Mo	4% em 24h	Intermediária
(Na)	6 h	Alta
B	-	Intermediária*

^a Adaptado de Wittwer e Teubner (1959);

^b Adaptado de Marschner (2012).

*pode variar de acordo com a espécie de planta.

A mobilidade, ou seja, o transporte dos micronutrientes das folhas para outros órgãos pelo floema, também varia de acordo com o elemento, sendo os mesmos classificados desde altamente móveis, intermediários, ou pouco móveis, como o Ca e Mn (Tabela 3). Para nutrientes com mobilidade baixa no floema, a adubação foliar apresenta pequena eficiência, visto que a translocação da folha para outros órgãos é praticamente nula e apenas as folhas atingidas com a solução são beneficia-

das com a aplicação. Assim, a adubação destes nutrientes deve ser via solo, enquanto que nutrientes como Zn, Cu, Fe e Mo, que possuem maior mobilidade, podem ser suplementados via foliar.

Normalmente são aplicados mais de um nutriente de uma só vez, bem como, a aplicação destes com defensivos. Para estas combinações é fundamental que exista compatibilidade da mistura, tanto do ponto de vista físico, quanto do químico, evitando assim a precipitação (insolubilização) da mistura no tanque de pulverização, o que compromete a qualidade da aplicação e a eficiência na absorção. O pH da solução para aplicação foliar deve ser levemente ácida, com pH entre 5 a 6, além disso a presença da ureia e de KCl na solução aumentam a absorção foliar de nutrientes, o que justifica a inclusão nas formulações (CASTRO, 2009). Quanto à época de aplicação, como regra geral, a adubação foliar é feita nos períodos de maior exigência da cultura e/ou quando diagnosticados sintomas visuais de deficiências.

Dados os diversos fatores relacionados a eficiência da aplicação foliar, os resultados da literatura são diversos e a opinião dos especialistas da área pode ser contraditória, mas há um consenso de que a aplicação foliar de nutrientes não é substitutiva a adubação via solo, mas sim complementar e deve ser empregada para micronutrientes e elementos benéficos. A maior probabilidade de resposta da adubação foliar ocorrem em ambientes de baixa capacidade de suprimentos de nutrientes via solo, em períodos de levada demanda do elemento pela planta ou na presença de fatores restritivos a absorção via sistema radicular, a exemplo da compactação do solo, presença de elementos tóxicos e problemas fitopatológicos nas raízes. A viabilidade econômica da adubação foliar também precisa ser levada em consideração para maximizar a rentabilidade da lavoura.

Faixas de suficiência de nutrientes para a cultura da soja

A predição da necessidade da aplicação de nutrientes na cultura da soja é realizada, na maioria dos casos, considerando a interpretação dos teores de nutrientes diagnosticados na análise de solo e a expectativa de produtividade na safra, que esta muito relacionada a quantidade de nutrientes que pode ser exportada pelos grãos. Mas, além destas variáveis, outras ferramentas, como a diagnose foliar pode ser utilizada como técnica acessória aos resultados de análise de solo, na avaliação do estado nutricional e indicação do balanço de nutrientes na cultura.

No RS e SC, as recomendações oficiais para a cultura, como aquela presente no Manual de Adubação e Calagem para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), sugere procedimentos de coleta e armazenamento das folhas, para posterior estimativa do estado nutricional. A folha normalmente é o órgão avaliado porque possui elevada atividade fotossintética. Mas também porque, hipoteticamente, na maioria dos casos, os teores de nutrientes na folha possuem relação com a produtividade ou suas variáveis. Além disso, sugere-se a coleta de folhas sem doenças e que não apresentem danos provocados por insetos. Também, as folhas não devem possuir resíduos de produtos (exemplo, fungicidas, inseticidas, fertilizantes foliares, outros) ou mesmo partículas de solo (poeira). Quando necessário, as folhas coletadas deve ser lavadas com água destilada ou com detergente neutro, seguido, de nova lavagem com água destilada e secagem em papel toalha. As folhas devem ser armazenadas em sacos de papel limpo, preferencialmente, aqueles encerrados, pois os papéis comuns podem contaminar a amostra. Finalmente, as folhas devem ser enviadas o mais breve para o laboratório, mas, caso isso não seja possível, elas podem ser secas previamente ao sol, mantendo a embalagem aberta (CQFS-RS/SC, 2016).

No caso da soja, sugere-se coletar as folhas no florescimento pleno (mínimo de 50% de plantas em R2 - início de uma flor aberta, em um dos dois nós superiores da haste principal). A folha a ser coletada deve ser madura e com pecíolo e estar localizada no terço superior da haste principal. Aliado a isso, sugere-se coletar 30 folhas, aleatoriamente por área (talhão) homogêneo (CQFS-RS/SC, 2016).

Atualmente a CQFS-RS/SC (2016) sugere, sempre que possível, a coleta de folhas "sadias" e aquelas com sintomatologia visíveis de desbalanços nutricionais, possibilitando definir os nutrientes que poderão estar em excesso ou deficiência. Este procedimento de amostragem permite o comparativo dos resultados de plantas com desenvolvimento normal e anormal dentro da mesma área. Os resultados obtidos também podem ser comparados com as faixas de valores normais de nutrientes em folhas, disponíveis na literatura, ou através de software de diagnose de estado nutricional de plantas, a exemplo do CND (Diagnose da Composição Nutricional), proposto por Parent & Dafir (1992).

O método CND, considera os aspectos ambientais na sua avaliação, uma vez que o padrão de referência é determinado dentro do próprio banco de dados, que deve ser obtido sob as atuais bases locais de produção e assim refletirem as reais condições de cultivo local, possibilitando que seja criados padrões de referências regionalizados e menos universais (HERNANDEZ-CARBALLO et al., 2008; ROZANE et al., 2016). Com isso, a observação em menor escala aumenta o nível de confiabilidade quando comparadas às normas mais generalistas, visto que as características locais são levadas em conta. Exemplos de valores de suficiência de nutrientes são apresentados na Tabela 4. Os valores foram obtidos em estudos realizados no estado de Mato Grosso do Sul (URANO et al., 2007) e Bahia (FERREIRA, 2020). Porém, a CQFS-RS/SC (2016) não apresenta, ainda, valores de suficiência de nutrientes em folhas de soja.

Tabela 4. Faixa adequada de nutrientes em folha de soja obtida pelo CND para o oeste baiano e pelos relatos na literatura para o Cerrado.

Fontes	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg kg ⁻¹					
Ferreira (2020)	33,2 - 40,1	2,1 - 2,9	11,7 - 17,7	5,8 - 8,0	2,8 - 3,4	1,3 - 2,1
Urano-CND (2007)	37,0 - 44,2	2,8 - 3,2	21,1 - 25,2	10,1 - 13,1	2,6 - 3,8	2,0 - 2,7
Fontes	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	mg kg ⁻¹					
Ferreira (2020)	36,8 - 49,1	2,0 - 16,9	76,8 - 111,2	17,4 - 55,4	43,2 - 106,1	-
Urano-CND (2007)	38,0 - 47,4	7,4 - 11,3	75,7 - 104,4	45,0 - 69,4	43,8 - 72,5	-

No entanto, a análise foliar deve ser utilizada como uma ferramenta acessória para estabelecimento da adubação da soja e não substitutiva a análise solo, visto que as faixas de suficiência de nutrientes nas folhas para a cultura não são ainda suficientemente conhecidas para maioria das cultivares e ambientes de cultivo. O resultado da análise foliar é uma ferramenta importante para avaliar a possível ocorrência de fatores restritivos a absorção dos nutrientes, como impedimentos ao desenvolvimento do sistema radicular e/ou problemas fitopatológicos no sistemas radicular, que podem comprometer a eficiência na absorção dos nutrientes, mesmo que seus teores estejam em níveis considerados adequados no solo.

Considerações finais

Embora as plantas possuam mecanismos fisiológicos que auxiliam na maior eficiência de absorção de nutrientes, o adequado manejo da adubação e nutrição da cultura ocorre com a utilização integrada das ferramentas e do conhecimento científico, que a partir da análise química do solo, recomendações podem ser feitas para patamares produtivos adequados. Isso porque, identificar as situações de deficiência ou excesso de nutrientes são subsídios para a recomendação de uma adubação racional e econômica. Considerando que as fontes dos

nutrientes utilizadas nas adubações dos cultivos são finitas, é fundamental que no melhoramento das cultivares de soja seja considerada a capacidade fisiológica de absorção de nutrientes e associação com microrganismos do solo, assim, maximizando a absorção de nutrientes e manutenção das elevadas produtividades, com menor necessidade de aporte de nutrientes. A adoção de práticas conservacionistas de solo também é primordial no manejo da nutrição da soja, evitando a degradação e a perda de nutrientes pela erosão, além de manter a qualidade do solo que é o recurso natural base dos sistemas agrícolas de produção, como o da soja.

Referências

- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S. & ALVARES V., V.H., eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade brasileira de Ciência do Solo, p. 291-334, 2003.
- AMBROSINI, V.G.; FONTOURA, S.M.V.; MORAES, R.P.; CARCIOCHI, W.; CIAMPITTI, I.A.; BAYER, C. Assessing nitrogen limitation in inoculated soybean in Southern Brazil. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 190016, p.1-6, 2019.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; WERNER, F.; FERREIRA, A. Nitrogênio mineral na soja integrada com a pecuária em solo arenoso. **Revista Agro@mbiente On-Line**, v.10, p.107-113, 2016.
- BALBOA, G.R.; SADRAS, V.O.; CIAMPITTI, I.A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: a historical synthesis-analysis. **Crop Science**, v.58, p.43-54, 2018.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in plants: an overview. RAKSHIT, A. et al. (eds.), **Nutrient use efficiency: from basics to advances**, Springer India, p. 417, 2015.
- BELINASO, R.J.S. **Localização de aplicação de fósforo sob calagem incorporada e superficial: res-**

- posta produtiva e no sistema radicular da soja.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, 2019.
- BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 563-573, 2015.
- BOROOMANDAN, P.; KHORAMIVAFI, M.; HAGHI, Y.; EBRAHIMI, A. The effects of nitrogen starter fertilizer and plant density on yield, yield components and oil and protein content of soybean (*Glycine max* L. Merr). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.12, p.378-382, 2009.
- CAIRES, E.F. & GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v.110, p. 1987-1995, 2018.
- CASTRO, P.R.C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal, Funep, 2009. 42 p.
- CIAMPITTI, I. A.; SALVAGIOTTI, F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. **Agronomy Journal**, v.110, p.1185-1196, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - **Sétimo Levantamento**, Brasília, v. 6 2019. 1-69p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 12 de março de 2020.
- CORDEIRO, C.F.S.; ECHER, F.R. Interactive Effects of Nitrogen Fixing Bacteria Inoculation and Nitrogen Fertilization on Soybean Yield in Unfavorable Edaphoclimatic Environments. **Scientific Reports**, v.9:15606, 2019.
- CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11 ed. NRS/SBCS, Porto Alegre, 2016. 376 p.
- DADSON, R. B.; ACQUAHH, G. *Rhizobium japonicum*, nitrogen and phosphorus effects on nodulation, sym-

- biotic nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in the Southern Savanna of Ghana. **Field Crops Research**, v.9, p.101–108, 1984.
- DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.D.; BALIEIRO, F.D.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p.1003-1020, 2016.
- FERREIRA, E. **Avaliação do estado nutricional da soja no oeste baiano**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2020.
- FISCHER, P.; PÖTHIG, R.; GÜCKER, B.; VENOHR, M. Phosphorus saturation and superficial fertilizer application as key parameters to assess the risk of diffuse phosphorus losses from agricultural soils in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 630, p.1515-1527, 2018.
- FONTOURA, S.M.V.; PIAS, O.H.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; MORAES, R.P.; BAYER, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 193, p.27-41, 2019.
- GAI, Z.; ZHANG, J.; LI, C. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. **PLoS ONE**, v.12, p.1-15, 2017.
- HERNANDEZ-CARABALLO, E.A.; RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, O.; RODRIGUEZ-PEREZ, V. Evaluation of the Boltzmann equation as an alternative model in the selection of the high-yield subsample within the framework of the compositional nutrient diagnosis system. **Environmental & Experimental Botany**, v. 64, p.225-231, 2008.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean

- in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, p.927–939, 2006.
- HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: BRUIJN, F. J. DE (Ed.). . **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., v.2, p.1005–1023, 2015.
- JOSIPOVIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; MARKOVIĆ, M.; PLAVŠIĆ, H.; LIOVIĆ, I. Irrigation and nitrogen fertilization influences on properties of soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) varieties. **Poljoprivreda**, v.17, p.9–15, 2011.
- KAMARA, A.Y.; EKELEME, F.; OMOIGUI, L.O.; AJEIGBE, H.A. Phosphorus and nitrogen fertilization of soybean in the Nigerian Savanna. **Experimental Agriculture**, v.48, p.39–48, 2012.
- KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Effect of fertilizer-N application and seed coating with rhizobial inoculants on soybean yield in Eastern Paraguay. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1627–1633, 2008.
- LYNCH, J.P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. **Plant Physiology**, v.156, p.1041–1049, 2011.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. third ed. Academic Press, London, 2012, p. 672.
- MEGHVANSI, M.K.; MAHNA, S.K. Evaluating the symbiotic potential of *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium japonicum* in vertisol with two soybean cultivars. **American-Eurasian Journal of Agronomy**, v. 2, p.21–25, 2009.
- MENDES, I.D.C.; Júnior, F.B.R.; Hungria, M.; Sousa, D.M.G.; Campo, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.43, p.1053–1060, 2008.
- NESTLER, J.; KEYES, S. D.; WISSUWA, M. Root hair formation in rice (*Oryza sativa* L.) differs between root types and is altered in artificial growth con-

- ditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p.3699–3708, 2016.
- OSBORNE, S.L.; RIEDELL, W.E. Starter nitrogen fertilizer impact on soybean yield and quality in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.98, p.1569–1574, 2006.
- PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, p.239–242, 1992.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná. 2017. 482p.
- PETTER, F.A.; PACHECO, L.P.; NETO, F.A.; SANTOS, G.G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, v.25, p.67–72, 2012.
- PIAS, O.H.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; MAZURANA, M.; BAYER, C. Crop yield responses to sulfur fertilization in Brazilian no-till soils: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.43, 0180078, 2019.
- PIAS, O.H.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, A.G.B.; BAYER, C. Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. **Agronomy Journal**, v.112, p. 675-692, 2020.
- PURCELL, L.C.; KING, C.A. Drought and nitrogen source effects on nitrogen nutrition, seed growth, and yield in soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.969–993, 1996.
- ROZANE, D.E.; PARENT, L.E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, p.102-112, 2016.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crop Research**, v.108, p.1–13, 2008.
- SCHIPANSKI, M.E.; DRINKWATER, L.E.; RUSSELLE, M.P. Understanding the variability in soybean nitrogen fi-

- xation across agroecosystems. **Plant and Soil**, v.329, p.379–397, 2010.
- SDA - Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006**. Diário Oficial da União – Seção 1, ISSN 1677-7042, nº 132, quarta-feira, 12 de julho de 2006.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004. 416p.
- STREETER, J.; WONG, P.P. Inhibition of legume nodule formation and N_2 fixation by nitrate. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.7, p.1–23, 1988.
- TIECHER, T.; DENARDIN, L.G.O.; MARTINS, A.P.; PIAS, O.H.; NUNES, L.R.; TIECHER, T.L.; RASCHE, J.W.A.; MALLMANN, F.J.K.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D.S. Dynamics of sulfate and basic cations in soil solution as affected by gypsum fertilization in an Ultisol of Southern Brazil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p.1998-2012, 2019.
- TIECHER, T.; PIAS, O.H.C.; BAYER, C.; MARTINS, A.P.; DENARDIN, L.G.O.; ANGHINONI, I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42, p.1-17, 2018.
- URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.63-72. 2007.
- WITTEWER, S.H.; TEUBNER, F.G. Foliar Absorption of Mineral Nutrients. **Annual Review of Plant Physiology**, v.10, p.13-30, 1959.
- ZHAO, J.; FU, J.; LIAO, H.; HE, Y.; NIAN, H.; HU, Y.; QIU, L.; DONG, Y.; YAN, X. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. **Chinese Science Bulletin**, v.49, p.1611–1620, 2004.

CALAGEM E ADUBAÇÃO PARA SOJA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Amanda Posselt Martins¹

¹ Eng. Agrônoma, Professora Doutora do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). amanda.posselt@ufrgs.br

Introdução

A exploração conjunta de plantas e animais domesticados, não é algo novo. De fato, este é um processo que remete aos primórdios da agricultura, em que herbívoros domesticados consumiam plantas que os humanos não conseguiam aproveitar, gerando produtos (e.g., carne, leite e lã) passíveis de utilização. Por sua vez, os dejetos animais geravam a fonte de nutrientes necessária aos cultivos. No entanto, essa forma integrada de se produzir alimentos, com a junção das atividades agrícolas e pecuárias, vem recebendo especial atenção no cenário atual. Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) (coloquialmente conhecidos como integração lavoura-pecuária) (Carvalho et al., 2014) são reconhecidos como uma das alternativas mais promissoras para a intensificação sustentável da produção de alimentos (FAO, 2010), em resposta ao cenário atual de extrema especialização das propriedades rurais (Entz et al., 2005), baixa eficiência de uso da terra (Foley et al., 2011) e alta dependência de insumos externos para a produção de alimentos (House & Brust. 1989), que acarreta, em maior ou menor espaço de tempo, na erosão, salinização, perda de nutrientes e outros processos de degradação do solo e do meio ambiente, com impactos *in situ* e *ex situ* (Lal, 2009).

Tal cenário se aplica no contexto do Sul do Brasil, onde aproximadamente 17 milhões de hectares são cultivados no período estival, com culturas como o arroz, o milho e, majoritariamente (68,8% da área total), a soja. No entanto, menos de 15% dessa área é cultiva-

da com cereais de inverno (CONAB, 2019), sendo que a maioria permanece no período entre safras de verão apenas em pousio ou com culturas de cobertura de alto potencial forrageiro. Assim, o SIPA, com a introdução de animais em pastejo no inverno e lavoura de grãos no verão, é uma alternativa para extensas áreas do Sul do Brasil, propiciando “uma colheita a mais” para o produtor, aumentando a renda, a eficiência do uso da terra e a diversificação das atividades nas propriedades rurais (Carvalho et al., 2015).

Dividindo o cenário do Sul do Brasil em terras altas e terras baixas, temos a cultura da soja atuando como protagonista e coadjuvante da fase lavoura, respectivamente. Em terras altas, predomina o seu monocultivo no verão (CONAB, 2019); enquanto, em terras baixas, a sua introdução vem sendo preconizada frente ao monocultivo do arroz irrigado no verão (Mengue & Fontana, 2015). Nesses casos, tem-se dois modelos principais de SIPA: a integração soja-pecuária em terras altas, cujos resultados de pesquisa já são vastos (Martins et al., 2015), e a integração arroz/soja-pecuária em terras baixas, cujos resultados já existem, mas ainda são escassos (Carmona et al., 2018). Nesse capítulo, será abordado o que já existe de conhecimento sobre o manejo da fertilidade do solo, pelas técnicas de calagem e adubação, nesses dois modelos de SIPA do Sul do Brasil, com soja na fase lavoura e gado (bovinos ou ovinos) de corte na fase pecuária. Como a grande maioria do atual conhecimento no manejo da fertilidade do solo advém do manejo de lavouras de grãos – no presente caso, a soja –, o foco será dado para as mudanças que ocorrem a partir da inserção de uma fase pecuária no sistema de produção de grãos, fazendo um paralelo com o conhecimento atual (CQFS RS/SC, 2016).

Acidez do solo e manejo da calagem

A acidez do solo é uma restrição para altas produtividades dos sistemas agropecuários em todo o mundo. A acidificação do solo pode ser verificada na avaliação temporal da análise química do solo de diversas formas, como a diminuição do pH e da saturação por bases e o aumento da saturação por alumínio (Al). Esses efeitos impactam plantas e microrganismos do solo, com diminuição da fixação biológica de nitrogênio (N) e da decomposição da matéria orgânica (MO), aumento da fitotoxidez do Al, menor disponibilidade de fósforo (P) e molibdênio (Mo) e deficiência de cátions básicos essenciais, como o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) (Sousa et al., 2007). Nessa temática, os trabalhos já realizados com SIPA no Sul do Brasil são majoritariamente em terras altas, e indicam que a integração da lavoura com a pecuária, em comparação a áreas somente com lavoura, acarreta uma menor acidificação do solo ao longo do tempo (Figura 1).

Como pode se observar, apesar dos dois sistemas avaliados estarem com seu solo extremamente ácido do ponto de vista do pH (menor que 5,5) (Figura 1A), o mesmo não vale para os outros dois atributos de acidez levados em conta para determinar ou não a necessidade de calagem (tomada de decisão) para soja, de acordo com a CQFS RS/SC (2016). A saturação por bases (Figura 1B), após transcorrido o mesmo tempo desde a última calagem (nove anos), estava abaixo e acima de 65% na camada diagnóstica (0-10 cm) do solo para o sistema de soja/plantas de cobertura e para o sistema de soja/bovinos de corte (SIPA), respectivamente. Do mesmo modo, a saturação por Al (Figura 1C), apresentava valores maiores e menores que 10% para soja/plantas de cobertura e soja/bovinos de corte, respectivamente. Ou seja, o sistema sem o pastejo animal no inverno apresentou uma acidificação mais acentuada ao longo do tempo, indicando necessidade de calagem após nove anos, de acordo com os três indicadores de acidez do solo (CQFS RS/SC, 2016), enquanto o SIPA manteve um solo menos ácido e sem necessidade de nova calagem.

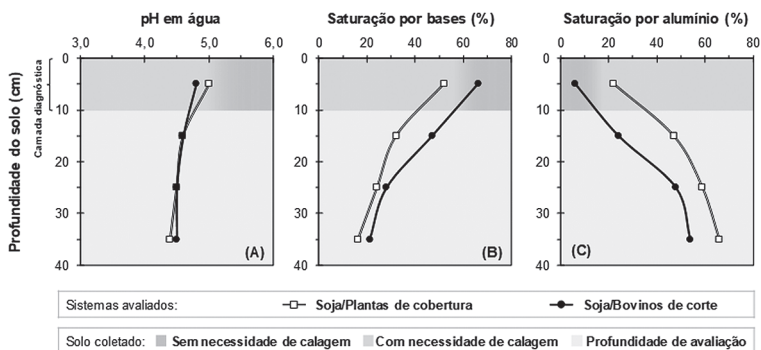


Figura 1. Atributos de acidez do solo após nove anos da realização da calagem superficial e da adoção ou não do sistema integrado de produção agropecuária (soja-bovinos de corte), em área com histórico de cultivo agrícola e em semeadura direta há 17 anos, em Latossolo de São Miguel das Missões, Rio Grande do Sul. Camada diagnóstica e necessidade de calagem para a soja, de acordo com a CQFS RS/SC (2016). Fonte: adaptado de Martins et al. (2014a).

Essa resposta diferenciada do SIPA na acidificação do solo ocorre porque o pH é governado pelos ciclos do C e do N no solo (Bolan e Hedley, 2003) que são inclusive intensificados em tais sistemas (Assmann et al., 2015). Essa intensificação é resultado da maior ciclagem dos nutrientes, provocada pela mudança na estrutura radicular das plantas do período de inverno, as quais, sob o estímulo de pastejo, investem mais em raízes (Reeder e Schuman, 2002). Isso explica os maiores valores de saturação por bases (Figura 1B) e menores de saturação por Al (Figura 1C), uma vez que as perdas (sobretudo por lixiviação) de Ca e Mg são de 1,3 a 2,9 vezes menores em SIPA (Martins et al., 2014a, 2016). Os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} são os principais constituintes das bases do solo, responsáveis pelo preenchimento das cargas negativas da fase sólida (capacidade de troca de cátions – CTC) e sua dinâmica governa os valores de saturação por bases e por Al.

A partir dos dados apresentados na Figura 1, é de se esperar que as relações entre pH e saturação por bases e por Al também mudem com a adoção do SIPA.

Nesse sentido, Martins et al. (2014a) verificaram que áreas de SIPA (soja/bovinos de corte), em Latossolo do RS, necessitam de um pH menor (4,8) do que as somente com lavoura (5,2) (soja/planta de cobertura) para atingir a saturação por bases de 65%. O mesmo ocorre com a relação entre pH e saturação por Al, em que valores iguais ou menores que 10% correspondem a um pH maior ou igual a 4,8 nas áreas de SIPA e 5,2 nas áreas sem integração. Isto quer dizer que, além dos benefícios supracitados do SIPA nessa temática, os índices de tomada de decisão para uma nova calagem também podem ser diferentes dos sistemas de lavoura de grãos, com um pH mais baixo do que o de 5,5 utilizado atualmente (CQFS RS/SC, 2016).

Por outro lado, compilando dados de trabalhos publicados em terras altas e terras baixas, observa-se na Figura 2 que muitos dos atributos de acidez do solo não apresentam relação com o rendimento relativo da soja em SIPA. Em terras altas, apenas a saturação por bases demonstra relação (Figura 2C), sendo que o valor correspondente a 90% do rendimento relativo (RR) da soja (porcentagem próxima da máxima eficiência econômica) (CQFS RS/SC, 2016) é de aproximadamente 70 e 50% nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Em terras baixas, apenas o pH da camada de solo de 10-20 cm demonstra relação (Figura 2B), com o limite crítico (90% do RR da soja) correspondendo a um pH de 6,0. Cabe ressaltar que esses dados são restritos a dois locais (experimentos) específicos, com baixo número de amostras (18 e 16 para terras altas e terras baixas, respectivamente), e mais estudos são necessários para se consolidar tais relações em SIPA, bem como recomendações de calagem específicas para esses sistemas. No entanto, demonstram que os ambientes devem ser tratados de forma diferente, por apresentarem respostas diferentes, tanto no que diz respeito ao SIPA como às condições edafoclimáticas.

Outra questão que é alterada com o SIPA é a profundidade máxima de ação do calcário no solo com a realização de calagem superficial. Os estudos já realizados a respeito dessa temática demonstram que os SIPA não prejudicam a descida do efeito corretivo do calcário e, ainda, maximizam – ou seja, a profundidade de correção do solo alcançada é maior na integração da lavoura com a pecuária comparativamente a sistemas apenas com lavoura. Conforme dados apresentados na Tabela 1, o efeito corretivo do calcário aplicado superficialmente alcança profundidades de até 40 cm ou mais nas áreas de SIPA, comparativamente a uma média de 11 cm de descida nas áreas sem SIPA.

A correção do solo até maiores profundidades nas áreas de SIPA é provável resultado de uma maior quantidade e continuidade de bioporos no perfil do solo, oriundo da maior produção de raízes (Souza et al., 2008) e da maior atividade da fauna edáfica (e.g., besouros coprófagos), propiciando a descida das partículas finas do calcário. Como o pastejo acarreta em maior produção de raízes da pastagem hiberna, deve haver também aumento da proporção de solo rizosférico e da atividade microbiana, além do esterco depositado sobre o solo aumentando os teores de C orgânico dissolvido na solução do solo que, por sua vez, contribui para a descida química dos compostos dissolvidos do calcário.

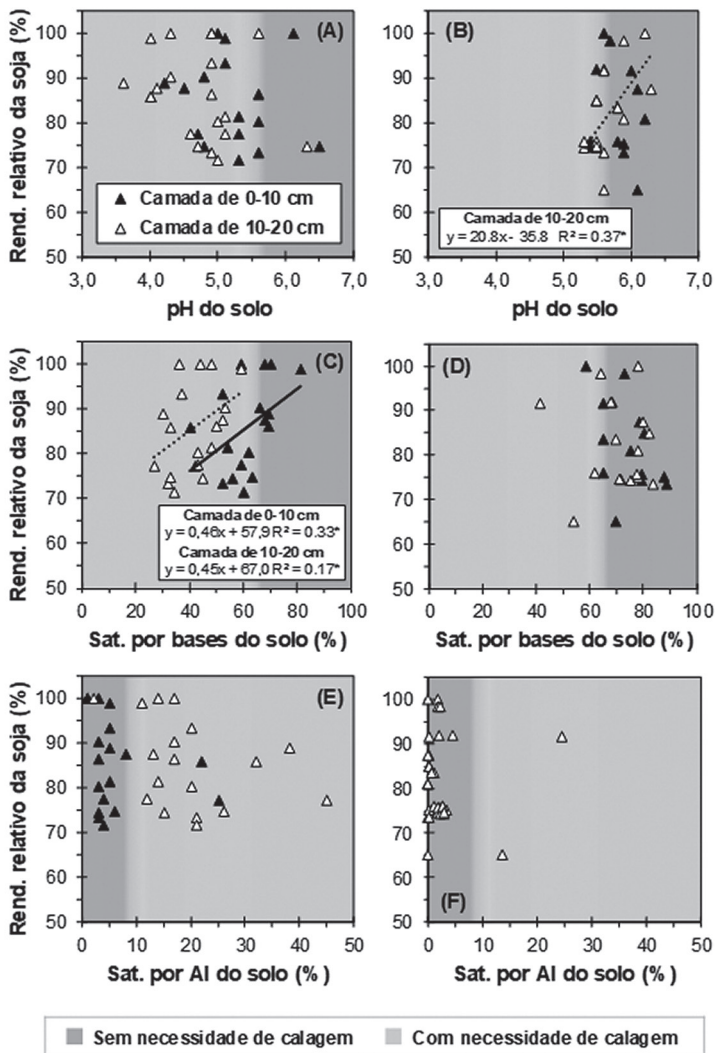


Figura 2. Relação entre rendimento relativo da soja e atributos de acidez do solo em sistema integrado de produção agropecuária em terras altas (soja-bovinos de corte em Latossolo de São Miguel das Missões) (A, C, E) e terras baixas (arroz/soja-bovinos de corte em Planossolo de Cristal) (B, D, F) no Rio Grande do Sul. Necessidade de calagem para a soja, de acordo com a CQFS RS/SC (2016). Fonte: elaborado pela autora a partir de dados de Martins et al. (2014b) e Denardin et al. (2020).

Tabela 1. Profundidade máxima de ação do calcário no solo na reaplicação superficial de calcário de um sistema integrado de produção (soja-bovinos de corte), realizada nove anos após a sua implantação, em área com histórico de cultivo agrícola em semeadura direta há 17 anos, em Latossolo de São Miguel das Missões, Rio Grande do Sul.

Sistema de produção	Profundidade máxima de ação do calcário no solo		
	Aumento do pH	Aumento da saturação por bases	Diminuição da saturação por Al
	----- cm -----		
Soja/ Plantas de cobertura	7,5	7,5	17,5
Soja/ Bovinos de corte	20,0		≥ 40,0

Fonte: adaptado de Martins et al. (2014b).

Disponibilidade de nutrientes no solo e manejo da adubação

Os nutrientes minerais são os elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Os 14 nutrientes minerais são divididos em dois grupos: seis macronutrientes e oito micronutrientes. Essa divisão se dá basicamente pela sua concentração na matéria seca das plantas (maior ou menor que $0,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) (Marschner, 1995). Para o primeiro grupo, existe uma divisão entre macronutrientes primários e secundários.

Os macronutrientes primários são o N, o P e o potássio (K), e são requeridos no manejo da adubação a cada safra ou ano, seja pelo alto requerimento em quantidade (caso do N e do K) ou pela forte interação com a fase sólida do solo e, conseqüentemente, baixa disponibilidade em solução para as plantas (caso do P). No caso da soja, pela realização da fixação biológica de N, com a simbiose com rizóbios, o P e o K são os nutrientes mais importantes do ponto de vista do fornecimento via adubação.

Em relação aos macronutrientes secundários, que são o Ca, o Mg e o enxofre (S), Ca e Mg possuem sua dinâmica e disponibilidade muito ligada à dinâmica da

acidez do solo e de seu respectivo manejo via calagem, já abordado anteriormente. Porém, o S é um nutriente bastante importante e exigido em quantidades relativamente altas pela soja. O teor crítico de S no solo para a soja é maior do que para a maioria das culturas (20 e 10 mg dm⁻³, respectivamente (CQFS RS/SC, 2016) e a sua exportação via grão é de aproximadamente 8 kg S Mg⁻¹, mesma quantidade de P e Mg (Malavolta, 1980). No entanto, ainda se desconhece de que forma a dinâmica do nutriente é alterada no SIPA. Em um dos poucos trabalhos que avaliaram a disponibilidade de S no solo em SIPA, em Latossolo do município de Castro (Paraná), Silva et al. (2014) verificaram maiores teores de S na forma SO₄²⁻ (S-SO₄²⁻) quando o manejo da fase pecuária foi realizado com pastagem composta apenas por azevém e com pastejo de animais mais leves (33 mg S-SO₄²⁻ dm⁻³), em comparação a manejos da fase pecuária com pastagem composta por diversas espécies (azevém, aveia preta, trevo branco e trevo vermelho), independentemente do peso dos animais em pastejo (em média, 21 mg S-SO₄²⁻ dm⁻³). Tal resultado pode estar relacionado à presença de leguminosas (trevos) na pastagem, que são mais exigentes na nutrição desse elemento.

Da mesma forma, poucos trabalhos já abordaram sobre a disponibilidade no solo e o manejo dos micronutrientes boro (B) cloro (Cl), cobre (Cu) ferro (Fe), manganês (Mn), Mo, níquel (Ni) e zinco (Zn) em SIPA. Novamente, um dos únicos trabalhos que estudaram a disponibilidade de alguns micronutrientes catiônicos (Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺) no solo sob SIPA, foi o de Silva et al. (2014). Esses autores verificaram respostas muito distintas, de acordo com o micronutriente, para os manejos testados na fase pecuária, que eram a diversidade de espécies pastoris e a intensidade de pastejo. No entanto, eles concluem que não há implicações práticas dos resultados obtidos, uma vez que independentemente do manejo, a interpretação da classe de fertilidade dos micronutrientes no solo foi a mesma e, na maior parte dos casos, foi alta.

Assim, no que diz respeito ao conhecimento da disponibilidade no solo e manejo da adubação de nutrientes para soja em SIPA, predomina os estudos com P e K; e, por essa razão, serão os dois nutrientes abordados no presente capítulo. Os SIPA são reconhecidos mundialmente por produzirem mais alimento e energia por unidade de área (Moraes et al., 2014). Os motivos para essa maior eficiência são vários, e um deles é a maior ciclagem do P e do K, que acaba por aumentar a disponibilidade desses nutrientes no solo ao longo do tempo. As quantidades cicladas, em um sistema integrado de soja-bovinos de corte, chegam a 65 kg P_2O_5 ha⁻¹ e 215 kg K_2O ha⁻¹ (Assmann et al., 2017) Apesar da ingestão de grande quantidade de biomassa e nutrientes, 70 a 99% do P e do K ingerido pelos animais retorna ao solo via fezes e urina, em formas prontamente e potencialmente disponíveis (Haynes e Williams, 1993). Ao contrário das culturas de grãos, como a soja, que para uma produção de 4 Mg ha⁻¹ de grãos se exporta cerca de 56 kg P_2O_5 ha⁻¹ e 80 kg K_2O ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2016), em pastagens, as exportações pela carne são mínimas, visto que uma produção de carne de 450 kg ha⁻¹ exporta apenas 2,3 kg P_2O_5 ha⁻¹ e 2,0 kg K_2O ha⁻¹ (Haynes e Williams, 1993). Nesse sentido, Alves et al. (2019) demonstraram que em SIPA o animal atua como um reciclador de nutrientes, e quem controla os fluxos de nutrientes são as culturas de grãos, pois 95% do P e do K são exportados por elas e apenas 5% pela carne.

Tal dinâmica é corroborada com os estudos que investigaram a dinâmica do P em SIPA, a grande maioria foi realizada no ambiente de terras altas, com Latossolos e Argissolos, e é consenso que a inserção do pastejo acarreta incremento nos teores desse nutriente no solo, principalmente em formas orgânicas lábeis, devido ao alto aporte de resíduos vegetais e animais (Costa et al., 2014; Damian et al., 2020). Deiss et al. (2016) observaram que a maior complexidade agrícola promovida pelo pastejo aumentou a disponibilidade de P para as plantas,

pelo incremento da concentração de P na forma de ortofosfato e redução do P orgânico recalcitrante. Da mesma forma para o K, onde Bertolazi et al. (2017) demonstraram, após 12 anos de adoção de SIPA soja-bovinos de corte em Latossolo do RS, aumento na disponibilidade de K, principalmente devido à maior ciclagem pelo maior crescimento radicular da pastagem promovido pelo pastejo. Posteriormente, na mesma área experimental, Almeida (2019) verificou que o pastejo induziu o uso de formas menos disponíveis de K no solo. Em ambiente de terras baixas, tais estudos ainda são escassos, Denardin et al. (2020) verificaram que o SIPA arroz/soja-bovinos de corte aumenta os teores de P e K disponíveis ao longo do tempo, com realização de adubação conforme CQFS RS/SC (2016).

Apesar disso, em levantamento realizado a respeito da relação do rendimento de grãos da soja em SIPA com os teores disponíveis de P e K do solo (Figura 3), observa-se ausência de relação significativa para ambos os nutrientes no ambiente de terras altas (Figura 3A, C), demonstrando que o manejo de tais nutrientes não vem sendo fator de limitação para o SIPA nesse ambiente. Por outro lado, em ambiente de terras baixas, apesar do K disponível do solo não apresentar relação com o RR da soja (Figura 3D), o P disponível apresentou relação significativa e com R^2 alto especialmente na camada de 10-20 cm (Figura 3B). Nesse cenário, o RR de 90% da soja correspondeu a teores de P disponíveis no solo de 40 mg dm^{-3} e $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ nas camadas de solo de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Figura 3B, D). Para a camada de 0-10 cm, esse valor é superior ao teor crítico atual adotado pela CQFS RS/SC (2016), de 30 mg dm^{-3} , obtido com pesquisas realizadas majoritariamente em ambiente de terras altas. Tal fato chama a atenção para a importância da disponibilidade de P no solo para a produtividade da soja em terras baixas, além de demonstrar a importância de pesquisas que investiguem qual a camada diagnóstica que deve ser utilizada para

soja cultivada em manejo conservacionista (semeadura direta) em terras baixas.

Apesar dessas diferenças de dinâmica e resposta, é importante salientar que a adubação fosfatada e potássica em SIPA deve seguir a mesma filosofia de adubação dos demais sistemas de cultivo nas etapas de construção da fertilidade do solo; ou seja, primeiramente deve ser realizada a adubação de correção, que visa elevar os teores de P e K disponíveis até um determinado teor crítico que é adequado ao crescimento e desenvolvimento das principais culturas de interesse agrícola e forrageiro (CQFS-RS/SC, 2016). Nessa lógica, os primeiros anos de adubação necessitam maior quantidade de P e K. Posteriormente, após atingido o teor crítico de P e K no solo, a adubação visa manter os teores dos nutrientes em níveis adequados ao desenvolvimento das culturas. Nesse estágio, as doses de P e K aplicadas correspondem basicamente à quantidade de nutrientes exportados pelos grãos, fibras, forragens e carne, mais eventuais perdas por escoamento ou imobilização no solo. Dessa forma, devido à baixa quantidade de P e K exportados na fase pecuária dos SIPA, existe uma necessidade mínima de reposição desses nutrientes via fertilizante, visando a manutenção dos teores acima do teor crítico em solos com fertilidade corrigida. Embora exista uma baixa probabilidade de resposta em cultura de grãos à adubação em solos onde os níveis de P e K são altos (Boring et al., 2018), para pastagem esta resposta pode ser maior, devido à necessidade de absorção de nutrientes também aumentar nas plantas sob pastejo, devido aos vários ciclos de estimulação do crescimento ao longo do período de pastagem (Ruess et al., 1983; Chapin e McNaughton, 1989).

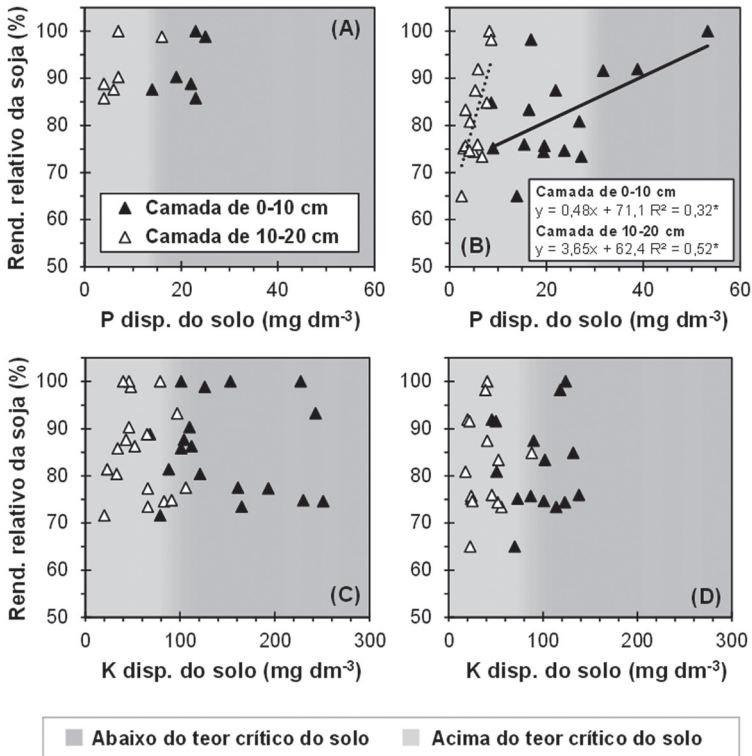


Figura 3. Relação entre rendimento relativo da soja e teores de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis do solo (Mehlich 1) em sistema integrado de produção agropecuária em terras altas (soja-bovinos de corte em Latossolo de São Miguel das Missões) (A, C) e terras baixas (arroz/soja-bovinos de corte em Planossolo de Cristal) (B, D) no Rio Grande do Sul. Teor crítico para a soja, de acordo com a CQFS RS/SC (2016). Fonte: elaborado pela autora a partir de banco de dados de experimento e Denardin et al. (2020).

Dessa forma, uma nova estratégia de adubação vem sendo estudada, a qual visa a antecipação da adubação de reposição com P e K exportada pelas culturas de grãos para a fase pastagem. Assim, é possível aproveitar o potencial reciclador do animal na fase pastagem e a capacidade de deixar em formas disponíveis para a cultura de grão em sequência, mantendo os níveis de P e K acima do crítico (Figura 4). Alves et al. (2020) ob-

servaram que, em um solo com teores de P e K acima do crítico, a antecipação da adubação de reposição do P e do K exportado pela cultura da soja para o estabelecimento da pastagem de inverno, aumentou a disponibilidade desses nutrientes no solo, potencializando a produção da pastagem e garantindo uma maior produção de carne animal, sem alterar a produtividade da cultura da soja em sequência (Figura 5).

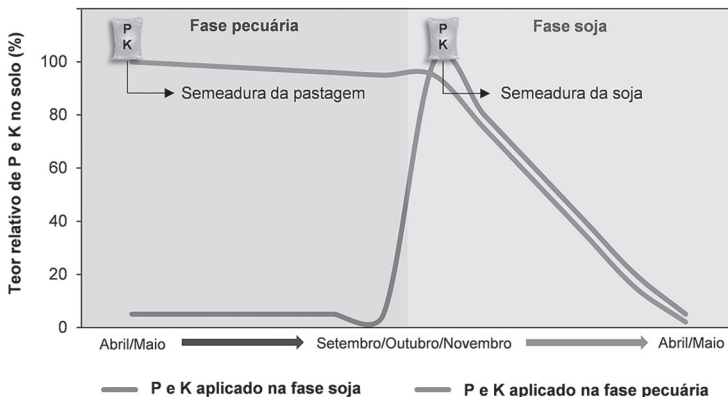


Figura 4. Modelo teórico do teor relativo de P e K no solo em função da época de aplicação do fertilizante, na pastagem (adubação de sistema) ou na lavoura de soja (adubação tradicional), em sistema integrado de produção agropecuária. Fonte: adaptado de Martins et al. (2020).

Vale salientar que, nesse estudo, os teores de P e K estavam acima do crítico (CQFS-RS/SC, 2016), e que devem ser conduzidos estudos sob diferentes solos e classes de disponibilidade, para ter-se uma melhor condição de recomendação ou não da antecipação da adubação de reposição com P e K exportada pelas culturas de grãos para a fase pastagem. Em sistemas onde a exportação de K é muito alta, como no cultivo de milho safra e soja safrinha, a antecipação total da adubação potássica no estabelecimento da pastagem pode causar um desequilíbrio muito grande na absorção de outros cátions básicos, como Ca e Mg.

Considerações finais

O que diferencia o manejo da fertilidade do solo dos SIPA dos demais sistemas de produção são os momentos de entrada e saída dos nutrientes, bem como os fluxos entre os compartimentos. E é por essa razão que tal manejo deve ser tratado de maneira especial e única, pois diferencia-se de sistemas puramente agrícolas e de sistemas puramente pecuários. Apesar disso, raros ainda são as referências aos SIPA nos Manuais de Calagem e Adubação utilizados no Brasil. Algumas evidências de alterações que podem ser propostas foram levantadas no presente capítulo, no que diz respeito ao manejo da calagem e da adubação. No entanto, urge a necessidade de se colocar como prioridade de pesquisa a compreensão da dinâmica da acidez e dos nutrientes no solo em SIPA, se avançando para recomendações específicas para esses sistemas.

Por fim, salienta-se que todos os resultados de pesquisa aqui demonstrados e utilizados para exemplificar as mudanças no manejo da fertilidade do solo, utilizam o gado de corte (sistemas de recria ou terminação) na fase pecuária do SIPA. Porém, no caso do gado de leite ou de sistemas de cria de gado de corte, muitos desses resultados podem se aplicar, com as mudanças principais sendo a provável maior exportação de nutrientes (via leite e formação óssea dos terneiros, principalmente Ca e P) e dependentes do manejo de pasto adotado.

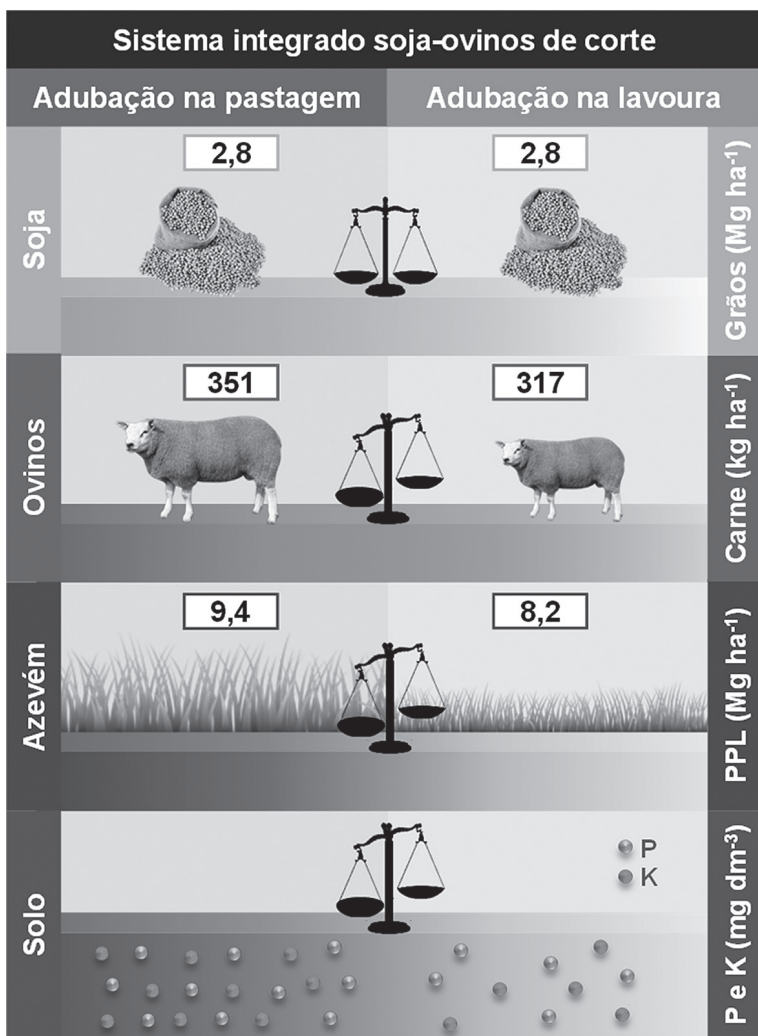


Figura 5. Esquema demonstrando os teores de P e K disponíveis no solo e produtividades da pastagem (produção primária líquida - PPL), da pecuária (carne ovina) e da soja (grãos) em função da época de adubação com P e K (na pastagem ou na lavoura) em um sistema integrado de produção agropecuária (soja-ovinos de corte) em Argissolo de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul. Fonte: adaptado de Alves et al. (2020).

Referências

- ALMEIDA, T.F. **Formas e balanço de potássio em Latossolo sob sistema integrado de produção agropecuária de soja e bovinos em plantio direto no Sul do Brasil** (dissertação de mestrado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. 58p.
- ALVES, L.A.; DENARDIN, L.G.O.; FARIAS, J.D.; FLORES, J.P.M.; FILIPPI, D.; BREMM, C.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P.; TIECHER, T. System fertilization: a new strategy to improve the efficiency of P and K use in an integrated crop-livestock system. **Agricultural Systems**, 2020.
- ALVES, L.A.; DENARDIN, L.G.O.; MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; TIECHER, T. Soil acidification and P, K, Ca and Mg budget as affected by sheep grazing and crop rotation in a long-term integrated crop-livestock system in southern Brazil. **Geoderma**, v. 351, p. 197-208, 2019.
- ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; KUNRATH, T.R.; BAYER, C.; CARVALHO, P.C.F.; FRANZLUEBBERS, A.J. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 967-978, 2015.
- ASSMANN, J.M.; MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L.G.O.; NICHEL, G.H.; COSTA, S.E.V.G.A.; FRANZLUEBBERS, A.J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 21-33, 2017.
- BERTOLAZI, V.T.; INDA, A.V.; CANER, L.; MARTINS, A.P.; VAZ, M.A.B.; BONNET, M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. Impact of an integrated no-till soybean-beef cattle production system on Oxisol mineralogy in southern Brazil. **Applied Clay Science**, v. 149, p. 67-74, 2017.

- BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In: RENGEL Z. **Handbook of Soil Acidity**. New York: Marcel Dekker Inc., 2003. p.29-56.
- BORING, T.J.; THELEN, K.D.; BOARD, J.E.; DE BRUIN, J.L.; LEE, C.D.; NAEVE S.L.; ROSS, W.J.; KENT, W.A.; RIES, L.L. Phosphorus and potassium fertilizer application strategies in corn-soybean rotations. **Agro-nomy**, v. 8, p. 195, 2018.
- CARMONA, F.C.; DENARDIN, L.G.O.; MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. **Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Terras Baixas**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2018. 160p.
- CARVALHO, P. C. F., ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.; MARTINS, A.P. A integração soja-pecuária no sul do Brasil. In: MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015. p. 21-24.
- CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L.S.; ANGHINONI, I.; SULC, R.M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 5, p. 1040-1046, 2014.
- CHAPIN, F.S.; MCNAUGHTON, S.J. Lack of compensatory growth under phosphorus deficiency in grazing-adapted grasses from the Serengeti Plains. **Oecologia**, v. 79, p. 551-557, 1989.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira de grãos, **Safra 2018/2019**, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 30 de abril de 2020.
- COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; CECAGNO, D., BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop-livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 43-51, 2014.

- CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11^a ed. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 2016. 365 p.
- DAMIAN, J.M.; FIRMANO, R.F.; CHERUBIN, M.R.; PAVINATO, P.S.; MARCHI, D.E.; SOARES, T.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.E.P. Changes in soil phosphorus pool induced by pastureland intensification and diversification in Brazil. **Science of Total Environment**, v. 703, p. 135463, 2020.
- DEISS, L.; MORAES, A.; DIECKOW, J.; FRANZLUEBBERS, A.J.; GATIBONI, L.C.; SASSAKI, L.G.; CARVALHO, P.C.F. Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 274, p. 88-96, 2016.
- DENARDIN, L.G.O.; MARTINS, A.P.; BASTOS, L.M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; CIAMPITTI, I.; CHABBI, A. Integrating livestock and soybean in no-till paddy fields: benefits and relationship between soil fertility and crop yield. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, submetido, 2020.
- ENTZ, M. H.; BELLOTTI, W. D.; POWELL, J. M. Evolution of integrated crop-livestock production systems. In: MCGILLOWAY, D. A. et al. **Grassland: a global resource**. Wageningen: Academic Publishers, 2005. p. 137-148.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification**. Rome: FAO, 2010. 64p.
- FOLEY, J.A.; RAMANKUTTY, N.; BAUMAN, K.A.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N.D.; O'CONNELL, C.O.; RAY, D.K.; WEST, P.C.; BALZER, C.; BENNETT, E.M.; CARPENTER, S.R.; HILL, J.; MON-

- FREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D.P.M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.
- HOUSE, G. J.; BRUST, G. E. Ecology of low-input, no-tillage agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 27, p. 331-345, 1989.
- LAL, R. Soils and food sufficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 113-133, 2009.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; COSTA, S.E.V.G.A.; CARLOS, F.S.; NICHEL, G.H.; SILVA, R.A.P.; CARVALHO, P.C.F. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, v. 144, p. 141-149, 2014b.
- MARTINS, A.P.; CECAGNO, D.; BORIN, J.B.M.; ARNUTI, F.; LOCHMANN, S.H.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A.; BAYER, C.; CARVALHO, P.C.F. Long-, medium-and short-term dynamics of soil acidity in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 104, p. 67-77, 2016.
- MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.R.; BALERINI, F.; CECAGNO, D.; CARVALHO, P.C.F. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 18-28, 2014a.

- MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015. 102p.
- MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. Avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 74, p. 331-340, 2015.
- MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.B.C.; COSTA, S.E.V.G.A.; KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.
- REEDER, J.D.; SCHUMAN, G.E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 457-463, 2002.
- RUESS, R.W.; MCNAUGHTON, S.J.; COUGHENOUR, M.B. The effects of clipping, nitrogen source and nitrogen concentration on the growth responses and nitrogen uptake of an East African sedge. **Oecologia**, v. 59, p. 253-261, 1983.
- SILVA, H.A.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F.; DIAS, C.T.S. Chemical and physical soil attributes in integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, p. 946-944, 2014.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.



MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO, FIXADORES DE NITROGÊNIO E SOLUBILIZADORES NA CULTURA DA SOJA

Thomas Newton Martin¹, Jessica Deolinda Leivas Stecca², Evandro Ademir Deak³, Fernando Fulanetti Sintra⁴, Matheus Ferreira Martins⁵ e Rosana Taschetto Vey⁴

¹ Professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), martin.ufsm@gmail.com

² Professora substituta do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar) - Campus Júlio de Castilhos.

³ AGD Dekalb na empresa Agren Agronegócio

⁴ Doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

⁵ Professor do Centro Universitário Faculdade de Educação e Meio Ambiente (UNIFAEMA)

Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a principal cultura cultivada no Brasil, sendo representada com a maior área em relação aos demais cultivos (CONAB, 2021). Este cultivo só é economicamente viável em países como o Brasil, devido à diversas alternativas que vêm sendo estudadas e aplicadas nas áreas atualmente. Os microrganismos (MOS) vêm sendo utilizados na agricultura como uma alternativa de manejo para obtenção de maiores produtividades e redução de custos. Algumas técnicas de utilização desses MOS já são bem conhecidas e aplicadas no campo. Como exemplo, podemos citar o uso de bactérias que realizam fixação biológica de nitrogênio (FBN), porém, ainda são necessárias pesquisas sobre o manejo dos MOS para que os resultados sejam consistentes.

A FBN realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é o principal processo biológico que fornece N para a soja. Esse processo de fixação de N pode contribuir com mais de 300 kg de N ha⁻¹ (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007), dispensando a aplicação de fertilizante mineral nitrogenado na cultura. Além da FBN, a tecnologia de inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) é uma prática usada no Brasil, Argentina e EUA. Existem várias estratégias para pro-

porcionar a melhor interação entre os microrganismos e as plantas de soja.

Os microrganismos inoculados ou já presentes no solo interagem entre si, sendo o ambiente, o principal responsável pela dinâmica de populações microbianas no solo. Desta forma, este capítulo apresentará itens que relacionam cuidados e formas de manejar os microrganismos na cultura da soja, bem como, conhecer mais a importância destes durante todo o ciclo da cultura. Entre os itens aqui apresentados, está o processo da FBN e a adição dos nutrientes cobalto, molibdênio e enxofre neste processo; a relação do pH do solo com a sobrevivência dos microrganismos; microrganismos promotores de crescimento, incluindo nestes, MOS que contribuem para maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, que melhoram a biota e estrutura física do solo, além de aumentar a tolerância a estresses bióticos e abióticos. Além destes assuntos, será abordado a interação de MOS com plantas de cobertura, sendo que, dependendo do tipo de planta e da época de manejo da biomassa, estas irão interferir na quantidade de palha presente, na estrutura do solo, entre vários outros fatores que serão comentados neste capítulo.

Fixação biológica de nitrogênio

A nutrição de plantas é um dos fatores principais na obtenção de altas produtividades de grãos, representando um percentual significativo nos custos de produção da lavoura. Dentre os nutrientes requeridos em maior quantidade para desenvolvimento e crescimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) está o nitrogênio (N). Na cultura, o N é obtido, principalmente, por meio da simbiose realizada entre a planta de soja e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, um processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN). O requerimento de N pela soja é alto devido ao elevado teor de proteína na composição dos seus grãos, que é de aproximadamente 40% (SILVA et al., 2007). Estima-se que para produzir 1.000 kg de grãos de soja são neces-

sários 80 kg de N (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007), o que implicaria em altos custos de produção pela utilização de fertilizantes nitrogenados.

Contudo, as bactérias realizam o processo de FBN, o qual pode suprir até 94% do N total necessário para o desenvolvimento da soja, garantindo ganhos econômicos pela não utilização de fertilizantes nitrogenados, os quais implicariam em gastos em torno de US\$ 15 bilhões de dólares a cada safra (HUNGRIA et al., 2005; HUNGRIA; MENDES, 2015). Vale ressaltar também, os danos ambientais que podem ser causados pela utilização dos fertilizantes nitrogenados, visto que, a eficiência de utilização pelas plantas que é de apenas 50% do que são aplicados, sendo necessários 33 milhões de toneladas de ureia.

No Brasil, as estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas e que possuem maior eficiência na FBN, para a cultura da soja, são *B. elkanii* (SEMIA 587 e SEMIA 5009), *B. japonicum* (SEMIA 5079 e SEMIA 5080) (CÂMARA, 2014). Porém, por não serem nativas em solos brasileiros é necessário realizar a inoculação das sementes da cultura, principalmente em solos onde nunca receberam inoculantes. Depois de inoculadas e semeadas, ocorre a germinação dessas sementes e as raízes da planta passam a exsudar algumas moléculas, principalmente flavonóides, que possuem a função de atrair os rizóbios inoculados, estimular o crescimento das bactérias na rizosfera da planta hospedeira e ativar diversos genes da bactéria responsáveis pelo início da nodulação (DESBROSSES; STOUGAARD, 2011). Esses genes são denominados fatores *Nod* e dão início ao processo de infecção das raízes, onde primeiramente ocorre encurvamento da parede celular dos pelos colonizados dando origem a um cordão de infecção no qual as bactérias continuam sua multiplicação. O cordão adentra as células epidérmicas da raiz, infeccionando-as podendo atingir o endoderma ou até mesmo o periciclo da raiz. A presença dos cordões no parênquima cortical da raiz faz com que células tetraplóides se multipliquem dando a origem aos primór-

dios do nódulo, os quais sofrem a ação dos hormônios auxinas e giberelinas transformando-se em meristemas, culminando na formação do nódulo, o qual vai abrigar a bactéria (TAIZ et al., 2017).

No interior dos nódulos está presente o complexo enzima nitrogenase, que é formado por duas enzimas, a ferroproteína e a ferro-molibdênio proteína, que são responsáveis pela fixação de N no nódulo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A Fe-proteína funciona como doadora de elétrons para a FeMo-proteína, num processo dependente de hidrólise de MgATP (BURK; BURRIS, 1941). O complexo enzimático da nitrogenase quebra a ligação tripla dos átomos do N_2 e esse é convertido por bactérias a formas assimiláveis pela planta, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (TAIZ et al., 2017).

No citoplasma das células nodulares infectadas também está presente a proteína leghemoglobina a qual se liga ao oxigênio, sendo capaz de armazenar O_2 suficiente para a manutenção da respiração celular por alguns segundos, além de fornecer ao nódulo coloração rosada no seu interior (EPSTEIN; BLOOM, 2005), indicando que esse está em plena atividade. No entanto, a efetividade do processo de FBN é complexo, pois durante o ciclo da cultura há constante formação e renovação dos nódulos no sistema radicular da planta, contribuindo para que o processo de formação até o estabelecimento da bactéria e realização da FBN seja bastante responsivo a diversos fatores do meio. Alguns fatores que interferem nessa efetividade são temperaturas altas (DEAK et al., 2019; INDRASUMUNAR; DART; MENZIES, 2011), acidez, baixa fertilidade e disponibilidade de água do solo (DEAK et al., 2019; STECCA et al., 2019) e compatibilidade entre tratamento de sementes e inoculantes (DA SILVA et al., 2018; SILVA et al. 2011).

O pH do solo

Dentre os fatores abióticos que afetam a FBN, o pH do solo é um dos mais importantes. A simbiose pode ser afetada tanto em condições de baixo quanto de alto

pH do solo, variando a tolerância de acordo com a espécie e a estirpe que for utilizada (BALA; GILLER, 2006; SHAMSELDIN, 2007). Solos cultivados intensivamente com a cultura da soja e aliado ao manejo inadequado, tem provocado reduções dos teores de matéria orgânica e aumento da acidez do solo (HENNING et al., 1997). Em solos de regiões tropicais e subtropicais, a acidez do solo é um dos principais fatores que limitam o crescimento das plantas, pois esses, normalmente, possuem baixa fertilidade natural, com pH em níveis críticos, destacando-se a presença de manganês, ferro e alumínio, que são tóxicos para a maioria das culturas de interesse econômico (ALVA et al., 1988; SOUZA et al., 2010) e menores teores de fósforo, cálcio e magnésio (FIGUEIREDO et al., 2008). O pH do solo de referência para a cultura da soja é 6,0, porém a acidez vai limitar pouco a produtividade até pH de 5,5 (CQFS, 2016). A acidez do solo, para essa cultura promove redução no desenvolvimento da planta, pois atua de forma negativa nas atividades do microssimbionte (rizóbios) que, geralmente, é a parte mais sensível ao efeito do pH (DEKA et al., 2006). Essa situação dificulta a troca de sinais entre esses e as raízes da planta (RUFINI et al., 2011), limitando sua sobrevivência e multiplicação e, conseqüentemente, reduzindo a nodulação e FBN (ESPAÑA et al., 2006). Portanto, o estágio inicial de infecção é o mais afetado. O pH ótimo para crescimento dos rizóbios é entre 6,0 e 7,0 (JORDAN, 1984) e poucos sobrevivem a pH abaixo de 5,0 (GRAHAM; VANCE, 2000). Portanto, é importante a realização da análise de solo e, caso necessário, efetuar a correção do pH, com objetivo de fornecer melhores condições para sobrevivência e multiplicação dos rizóbios.

A correção do pH do solo pode ser realizada por meio de calagem, que além de corrigir a acidez do solo e reduzir a toxidez de alumínio, aumenta a disponibilidade de alguns micronutrientes (SILVA; MENDONÇA, 2007), como o magnésio para a produção de fotoassimilados e para a molécula de clorofila, além do cálcio para o crescimento radicular. Também promovem um melhor apro-

veitamento de N, fósforo e potássio pela cultura da soja (QUAGGIO et al., 1993), o que geralmente incrementa a nodulação, a FBN e, conseqüentemente, a produção da soja (TANAKA; MASCARENHAS, 1992).

Coinoculação na cultura da soja

Na cultura da soja, a FBN é realizada predominantemente por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Contudo, a associação desta com outras bactérias vêm se destacando, como é o caso da coinoculação, que melhora a eficiência da utilização do N pela cultura (BÁRBARO et al., 2009). Neste contexto, destacam-se as bactérias do gênero *Azospirillum*, pois contribuem para o processo de FBN (FUKAMI et al. 2016), produzem hormônios promotores de crescimento como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno (TIEN; GASKIN; HUBBELL, 1979), possuem capacidade de solubilizar fosfato e promovem indução de resistência sistêmica a estresses ambientais e doenças (HUNGRIA et al., 2013).

Os aumentos na produção dos compostos promotores de crescimentos podem auxiliar no desenvolvimento e produtividade das plantas (ARAUJO et al., 2012). Um dos principais benefícios da utilização dessas bactérias, é o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, possibilitando explorar mais volume de solo e, portanto, promovendo vantagens em relação a demanda de nutrientes e água (DEAK et al. 2019; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014).

Estudos vêm demonstrando resultados positivos envolvendo a coinoculação de bactérias dos gêneros *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. Essa pode beneficiar a germinação das sementes, a ramificação radicular, o crescimento das plantas e a nodulação (JUGE et al., 2012). Segundo Groppa, Zawozinik e Tomaro (1998), a coinoculação promove um aumento no número de nódulos na raiz principal da planta, além de aumentar em 23% o teor de N presente nas plantas quando comparadas a inoculação somente com *Bradyrhizobium*. Ferri et al. (2017) observaram aumento no rendimento de grãos

variando de 10 a 20% em relação à inoculação padrão (*B. japonicum*).

Cobalto e molibdênio na cultura da soja

O crescimento e desenvolvimento ideal de plantas cultivadas são dependentes de 17 elementos essenciais (FAROOQ et al., 2012). Esses são denominados macronutrientes quando exigidos em maior quantidade e micronutrientes quando em menor quantidade. A deficiência ou disponibilidade inadequada de um desses elementos pode acarretar em redução do crescimento ou até mesmo morte das plantas (MENGEL et al., 2001). Os micronutrientes formam complexos enzimáticos que ligam a enzima ao substrato e participam também de reações redox, pois sua presença em grupos protéicos permite que eles catalisem essas reações por meio da transferência de elétrons. Além disso, os micronutrientes estão envolvidos nos principais processos fisiológicos da fotossíntese e da respiração (MENGEL et al., 2001) e sua deficiência pode impedir esses processos fisiológicos vitais, limitando assim o ganho de produtividade das culturas.

Na cultura da soja, estudos vem demonstrando a importância dos micronutrientes Co e Mo (BARBARO et al., 2009), sendo que a aplicação desses proporciona aumento na germinação de sementes (GUERRA et al., 2008). O Mo, em leguminosas, está envolvido na nutrição e assimilação de N pelas plantas, fazendo parte dos componentes de, pelo menos cinco enzimas que catalisam reações muito diversas participando dos processos de transferência de elétrons (MALAVOLTA, 2006). O Mo faz parte da nitrato redutase, reduzindo o NO_3^- a NO_2^- possibilitando sua incorporação em compostos orgânicos nas raízes e na parte aérea da planta. Para exibir atividade biológica, o molibdato precisa estar ligado a pterina para ser convertido no cofator de Mo (Moco). O Moco passa a fazer parte do sítio ativo das enzimas molibdômicas, onde o Mo pode variar seu estado de oxidação entre Mo (IV), Mo (V) e Mo (VI), possibilitando a transfe-

rência de proteínas, elétrons e oxigênio de um substrato para outro (HILLE, 2013). Também faz parte da enzima nitrogenase na forma de Fe-Mo proteína, quando essa recebe os elétrons da Fe-proteína ocorre sua ligação com o N_2 , e na presença destes elétrons, mais os H advindos do processo de respiração via metabolismo oxidativo, juntamente com ATPs ocorre a quebra da ligação tripla do N_2 atmosférico resultando em $NH_3 + H_2$. Esses dois processos, de redução e nitrogenase, permitem a transformação de N a formas assimiláveis pela planta (MARSCHNER, 1986; PRADO, 2008).

O Co é um elemento essencial para os microrganismos que realizam a FBN, pois faz parte da estrutura das vitaminas B_{12} , sendo importante na formação da coenzima cobalamida que é precursora da legmoglobina, que determina a atividade dos nódulos (LOPES; LEONEL JUNIOR, 2000). Portanto, qualquer alteração na disponibilidade destes nutrientes para a planta pode resultar em interferências no processo de FBN (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010) e por consequência na produtividade de grãos da cultura. As quantidades requeridas de Co e Mo pelas plantas de soja são pequenas e sua aplicação via semente constitui-se uma das formas mais práticas de adubação.

Contudo há trabalhos que demonstram que aplicação de micronutrientes no tratamento de sementes pode ocasionar efeitos tóxicos nas bactérias inoculadas, reduzindo sua sobrevivência (BÁRBARO et al., 2009; SILVA et al., 2011). Neste caso, a pulverização foliar pode ser mais eficiente por evitar o contato direto das bactérias com os micronutrientes, porém implicaria em aumento nos custos de produção para sua aplicação. Todavia, Dourado Neto et al. (2012) não encontraram diferenças na produtividade de grãos quando da aplicação de Co e Mo via semente ou via foliar. Outros trabalhos já indicam que o método mais eficaz para aplicação desses micronutrientes é no tratamento de sementes (GALINDO et al., 2016; JOHANSEN et al., 2006). Pesquisa realizada por Stecca (2020), mostrou que a coinoculação associa-

da à aplicação de Co e Mo é uma tecnologia que contribui para o aumento na produtividade de grãos, na qualidade de sementes da próxima geração e no teor de proteínas do grão da cultura da soja com custo de produção relativamente baixo. Desta forma, verifica-se a importância da utilização destes micronutrientes na cultura da soja.

Enxofre (S) na cultura da soja

O S é considerado um macronutriente secundário, pois sua reposição ao solo normalmente é realizada em associação com algum macronutriente primário (CQFS-RS/SC, 2016). Dentre as funções do S na planta, uma das principais é a sua participação no processo de FBN em leguminosas. O S é constituinte dos aminoácidos sulfurados cisteína e metionina, que são essenciais para a síntese e atividade da enzima nitrogenase (KRISHNAN, JEZ, 2018). Além disso, é constituinte de grupos ferro-enxofre da ferredoxina (4Fe-4S), enzima que participa da reação de transferência de elétrons até as subunidades da nitrogenase (BECANA et al., 2018). De modo geral, nódulos com deficiência de S tem menores níveis de leghemoglobina, glicose, ATP e ferredoxina, quando comparado a nódulos supridos adequadamente com S, limitando a FBN e conseqüentemente a produtividade de grãos (VARIN et al., 2010; GETACHEW et al., 2017).

A soja demanda aproximadamente 10 kg de S por tonelada de grãos produzidos (PRADO, 2008). A exigência deste nutriente pela cultura é classificada como média/alta, sendo superior em relação às gramíneas devido ao elevado teor de proteína dos grãos, com demanda similar ou superior ao fósforo (JEMAL et al., 2010). Porém, o manejo inadequado das lavouras, com o uso de fertilizantes mais concentrados em nitrogênio, fósforo e potássio, com baixas ou nulas concentrações de S, vem causando redução nos níveis deste nutriente no solo, principalmente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica (ALVAREZ, 2004; TIECHER et al., 2016).

De acordo com Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQ-FS-RS/SC, 2016), as culturas estão agrupadas em dois grupos quanto a sua exigência em S, sendo que para as espécies das famílias das fabáceas, brassicáceas e liliáceas o limite crítico no solo é de 10 mg dm^{-3} de sulfato (SO_4^{2-}) e de 5 mg dm^{-3} para as demais espécies. No entanto, devido a restrita atenção dedicada a este nutriente, aproximadamente 50% dos solos da região norte do estado do Rio Grande do Sul se encontram com o nível de S abaixo do nível crítico para a cultura da soja (TIECHER et al., 2016). Alvarez (2004) também constatou baixos níveis de enxofre nos solos do RS, ao analisar 90 mil amostras, verificou que em 49% delas o teor de SO_4^{2-} estava abaixo de 10 mg dm^{-3} , e 12,3% estavam com níveis inferiores à 5 mg dm^{-3} . Nestas áreas possivelmente a FBN esteja limitada para a cultura da soja, consequentemente a formação de proteína no grão é prejudicada pela limitação do N. Nestas condições, a possibilidade de resposta à aplicação de S é alta (BROCH et al., 2011).

O S pode ser aplicado ao solo por meio de fertilizantes que possuem o SO_4^{2-} prontamente disponível às plantas como no sulfato de amônio, superfosfato simples, gesso agrícola, sulfato de potássio, ou por meio de fontes que forneçam o S em sua forma elementar. A concentração de S no S-elementar fica em torno 90%, com isso reduz custos de transporte, armazenamento e de aplicação por unidade de S (HOROWITZ; MEURER, 2006). Porém, o S-elementar não é uma fonte de S prontamente disponível às plantas, visto que estas absorvem este nutriente preferencialmente na forma de sulfato (SO_4^{2-}). Para que o S-elementar possa ser aproveitado pelas plantas, este precisa ser oxidado a SO_4^{2-} no solo, passando do seu estado de oxidação S^0 para S^{6+} (MALAVOLTA, 2006). A reação de oxidação de S-elementar a sulfato ocorre em solos bem drenados e com disponibilidade de oxigênio, e os agentes responsáveis por esta oxidação são as bactérias do gênero *Acidithiobacillus* (KELLY, WOOD, 2000).

2020). Rolim et al. (2019), comparando as bactérias *B. diazoefficiens*, *B. japonicum* e *B. elkanii* no solo em reinoculação no segundo até sexto ano, verificaram que a maior nodulação de raízes foi obtida com a utilização de *B. japonicum*. Na produção de grãos de soja com bactérias *B. diazoefficiens* e *B. japonicum* inoculadas via semente separadamente não se verificou diferenças entre as produtividades de grãos (MARKS et al., 2013).

Bactérias do gênero *Azospirillum* sp. são promotoras de crescimento radicular na cultura da soja e consequentemente melhoram a colonização e produtividade de grãos (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016). A partir da associação, essas BPCP ampliam em alguns milímetros o sistema radicular das plantas (GRAY; SMITH, 2005). Na coinoculação, os benefícios do *Azospirillum* sp. incluem a atividade de vários fitohormônios e outras moléculas no efeito de promover o crescimento vegetal. Além disso, contribuem com a fixação de (N), a atividade nas membranas, e a proliferação no sistema radicular. Desta forma, ampliam a capacidade de colonizar as raízes e estimular o crescimento radicular, obtendo assim, maior volume do solo explorado e com a melhor absorção dos nutrientes e água (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016; CASSÁN et al., 2020).

A inoculação com *Azospirillum* sp. tem efeitos benéficos para as plantas da família botânica das fabaceae (PEREG; DE-BASHAN; BASHAN, 2016), obtendo aumento de produtividade de 6,6% (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016). Entre os gêneros *Azospirillum* sp., o *A. brasilense* é a espécie mais conhecida, de 22 espécies, incluindo 17 espécies válidas. Sendo que *A. lipoferum* e *A. brasilense* são espécies de origem brasileira (CASSÁN et al., 2020). Segundo Queiroz Rego et al. (2018), a inoculação da bactéria *A. brasilense* nas sementes da soja, ocasionou maior altura da planta, maior número de vagens por planta, maior número de sementes por planta e maior produtividade de grãos (719,41 kg ha⁻¹) em relação à testemunha. O potencial de crescimento do sistema ra-

dicular na cultura da soja é verificado pelo aumento do comprimento total da raiz, número de raiz lateral, altura de plantas e matéria seca da parte aérea *A. lipoferum* e *A. brasilense* foram iguais. Porém, o *A. brasilense* apresentou maior matéria seca da raiz, maior volume da raiz e maior matéria seca da planta da parte aérea em relação à *A. lipoferum* (MOLLA et al., 2001).

As BPCP possuem uma capacidade de induzir mecanismos de defesa das plantas que causam resistências sistêmicas aos ataques dos patógenos (FUKAMI; CERZINI; HUNGRIA, 2018). Os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Azospirillum*, tem capacidade de controlar muitas doenças (fúngicas e bacterianas) além de reduzir a infestação de nematoides (WHIPPS, 2001; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014; FUKAMI; CERZINI; HUNGRIA, 2018). A partir dessas ações existe uma melhoria sustentável na produção de soja, melhorando o crescimento e o sistema de defesa das plantas contra patógenos (TARIQ et al., 2020).

O gênero *Bacillus* é predominante no solo, sendo que várias espécies desse gênero foram relatadas em diversos nichos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes, proteção contra patógenos, ajudando as plantas a tolerarem estresses abióticos (SAXENA et al., 2020). As espécies *B. aryabhatai* e *B. megaterium* obtêm um potencial de fixação biológica de N (YOUSUF et al., 2017). Nesse viés, a espécie de bactéria *B. aryabhatai*, na cultura da soja, mostrou uma tolerância significativa ao estresse térmico, uma vez que, as plantas de soja produziram raízes, brotos mais longos do que as plantas não tratadas. Assim, com a utilização *B. aryabhatai* pode-se provar que se trata de um recurso que pode ser utilizado em biofertilizantes que possam melhorar a produtividade da soja (PARK et al., 2017). Ramesh et al. (2014) comparando inoculação de três cepas de *B. aryabhatai*, MDSR7, MDSR11 e MDSR14, em solubilizantes de zinco in vitro, observaram que elas foram consistentes em seu aumento de massa seca da raiz, parte aérea, sementes e

absorção de zinco na cultura da soja em relação à comparação com o controle. Bactérias como *B. aryabhatai* e *B. megaterium*, na cultura da soja, têm potencial de recuperação da planta de soja ao estresse salino pela produção de metabólitos bioativos, os quais acionam os antioxidantes, fitohormônios, mantendo o equilíbrio de Na^+ e promovendo a captação de íons de K^+ , além de regular a tolerância ao sal (KHAN et al., 2019). Conforme evidenciado nessa pesquisa, esses dois microrganismos têm potencial para desenvolver um biofertilizante ecológico que obteve maior crescimento da soja sob condições ao estresse salino (KHAN et al., 2019). A bactéria *B. megaterium* cepa Sneb207 possui capacidade de inibir a penetração e desenvolvimento nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) nas raízes da cultura da soja, sendo uma das pragas mais devastadoras da produção da soja em todo o mundo. De acordo com Zhou et al. (2017), *B. megaterium* cepa Sneb207 favorece a expressão de genes de defesa da cultura da soja e é um agente de biocontrole de nematoides do cisto da soja (ZHOU et al., 2021). Com base em pesquisas de campo, afirmam que o revestimento de sementes de soja, através *B. simple*, *B. megaterium* e *S. fredii*, reduzem a reprodução de nematoide do cisto da soja, além de promoverem o crescimento e a produtividade das plantas (ZHOU et al., 2017).

Bactérias do gênero *Pseudomonas* sp. estão sendo muito estudadas, visto que possui metabólitos antimicrobianos, sendo classificadas como BPCP. Ademais, tem um potencial de supressão de fitopatógenos e capacidade de estimular o crescimento vegetal, por meio de fixação de N, produção de enzimas, hormônios e solubilizar minerais inorgânicos (SHAHID et al., 2018). Dentre os potenciais apresentados pela literatura podem ser citados o controle de doenças fúngicas e bacterianas de plantas, e conseqüentemente a redução do uso de fungicidas (MÜLLER; BEHRENDT, 2021). A inoculação com a bactéria *P. fluorescens* Z4-1 foi realizada no solo, poden-

do persistir no solo em abundância em torno de 2,0 - 6,4 %, durante o ciclo da soja, aumento da degradação de fósforo orgânico em 22 a 30 % em relação ao controle. A referida bactéria é uma alternativa de uso como biofertilizante, pois ao longo da fase de floração, a bactéria *P. fluorescens* Z4-1 proporciona maior massa da raiz, além de apresentar 1,82 vezes mais atividade radicular em relação ao controle (SUN et al., 2017).

O bokashi é um aditivo orgânico, sendo uma ferramenta utilizada no manejo sustentável do solo e em interações entre os microrganismos, que constituem o inóculo e os principais grupos de microrganismos benéficos. Para obter bokashi de boa qualidade, com alto teor de N, é necessário utilizar fonte de matéria prima rica em N e em carbono de fácil assimilação microbiana (QUIROZ et al., 2019).

Atualmente existem diversas ferramentas (BPCP) com potencial comprovado para a utilização na cultura da soja. Contudo, as interações entre os microrganismos e seus efeitos sobre o desenvolvimento das plantas de soja ainda não são totalmente conhecidos, necessitando de mais estudos para a multiplicação e avaliação das BPCP.

Outras BPCP

A coinoculação é a utilização de duas ou mais bactérias sendo aplicadas com objetivos distintos. Inicialmente a inoculação (aplicação de uma bactéria) era apenas utilizada via sementes, posteriormente, via sulco de semeadura e atualmente, utiliza-se também aplicações por vias foliares. As BPCP elevam a produção, pois, através da colonização das raízes, resulta em estímulo para o metabolismo das plantas. Com isso, ocorre o aumento do crescimento por meio de mecanismos, como a síntese de fitormônios (citocininas, etileno e ácido abscísico) (DODD et al., 2010). Autores como Silva et al. (2019) verificaram que a coinoculação via sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense*, proporcionaram incre-

mento no número e na matéria seca de nódulos, volume e matéria seca da raiz, e ainda matéria seca da parte aérea, quando comparado à testemunha. A utilização da coinoculação das bactérias *Bradyrhizobium* sp. e *A. brasilense* aumenta significativamente a produtividade de grãos de soja, a nodulação e o crescimento radicular (BARBOSA et al., 2021).

A coinoculação com *B. japonicum* (SEMIA 5079) mais *B. diazoefficiens* (SEMIA 5080) via semente e coinoculados com *B. subtilis* mais *A. brasilense* realizada em pulverização na parte aérea, proporcionou maior comprimento radicular, maior área superficial das raízes, número de nódulos e produção de grãos em relação a coinoculação somente via sementes (MORETTI et al., 2020). Segundo Hungria et al. (2013) a coinoculação via sulco com *A. brasilense* + *B. japonicum* obtiveram maior produtividade de grãos, em relação ao tratamento que foi inoculado via sementes com *B. japonicum*. A inoculação de sementes com *B. japonicum* E109 em conjunto com a pulverização foliar no estádio V3 (segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida) (Fehr e Caviness, 1977) com *A. brasilense* Az39, obteve respostas positivas nos teores de nitrogênio e proteína nos grãos, na massa de mil grãos quando comparado com a inoculação de *B. japonicum* nas sementes (PUENTE et al., 2019).

A coinoculação em soja com as bactérias *B. japonicum* + *B. subtilis* apresentou maior massa seca da parte aérea, área foliar, raiz, número de nódulos, em relação a inoculação com *B. japonicum* (ARAUJO et al., 2021). Sendo que a coinoculação de *B. japonicum* USDA 110 + P. putida TSAU1 favoreceu o sistema radicular com maior comprimento total da raiz, área de superfície da raiz em relação as sementes inoculadas com *B. japonicum* USDA 110. O uso dessas bactérias favorece o desenvolvimento das raízes, ampliando o comprimento total, área de superfície, área projetada e volume radicular em relação a testemunha (EGAMBERDIEVA et al., 2017).

A coinoculação com *Bacillus velezensis* S141 + *B. diazoefficiens* USDA110, promoveram o crescimento da soja, aumentando a nodulação, número e tamanho de nódulos da soja em relação a inoculação de *B. diazoefficiens* USDA110. O *Bacillus. velezensis* S141 tem vários genes que estão relacionados à biossíntese de auxina e citocinina, com capacidade de promover o crescimento das culturas. O ácido indol-3-acético (AIA) é produzido pela bactéria *Bacillus velezensis* S141, afetando o alongamento e a proliferação celular de nódulos quando coinoculados com *B. diazoefficiens* USDA110. Recebendo um sinal pela simbiose, induz a divisão e alongamento celular e a proliferação de células corticais e a formação de nódulos (SIBPONKRUNG et al., 2020).

Microorganismos e as plantas de cobertura

As adversidades enfrentadas pelas bactérias simbiotes e a cultura da soja podem ser amenizadas utilizando plantas de cobertura. A biomassa dessas plantas sobre a superfície do solo ajuda a diminuir as flutuações de temperatura e umidade do solo, e suas raízes a melhorar atributos físicos do solo como a densidade. No entanto, dependendo da planta de cobertura utilizada e da época de manejo da biomassa que influenciam no efeito do sistema radicular no solo, na quantidade de palha na superfície do solo, na composição química e na velocidade de decomposição da biomassa, podem ocorrer efeitos inesperados, principalmente, quando é realizada a inoculação consorciada de bactérias na soja. Nesse sentido, as práticas de manejo do campo devem ser direcionadas para evitar condições desfavoráveis ao desenvolvimento das bactérias e da cultura.

As plantas são semeadas na entressafra da cultura, visando manter o solo coberto e posteriormente servir como palhada para semeadura direta. No Brasil, o cultivo da soja sem o revolvimento do solo e uso de culturas de cobertura na entressafra é o principal sistema de cultivo utilizado (FEBRAPDP, 2021).

A Região Sul do Brasil destaca-se na utilização de plantas de cobertura para servir como palhada para o cultivo da soja (BASTOS FILHO et al., 2007). Isso ocorre devido ao inverno frio nessa região, que permite a utilização de diversas culturas como aveia, trigo, nabo forrageiro, ervilhaca e azevém (LIMA FILHO et al., 2014). A escolha da cultura a ser implantada está relacionada principalmente a dois objetivos principais: manter o solo coberto por um maior período, utilizando plantas com maior relação C/N e fornecer nutrientes como o nitrogênio para a cultura subsequente, utilizando plantas com menor relação C/N. Para a cobertura do solo durante o cultivo da soja, no inverno o trigo é utilizado em rotação com a aveia, visto que, além de boa cobertura do solo, a cultura complementa a receita do produtor pela comercialização dos grãos. O nabo forrageiro é utilizado objetivando a atenuação dos efeitos da compactação (DEBIASI et al., 2010) e ciclagem de nutrientes, sendo o nitrogênio, o principal (LIMA FILHO et al., 2014). A ervilhaca pode ser utilizada para o fornecimento de N (ACOSTA et al., 2014). No entanto, devido às diferenças entre as plantas de cobertura (produção de biomassa, composição química, tipo de sistema radicular, relação C/N) os efeitos sob as bactérias e a soja podem variar.

O nabo forrageiro pode apresentar uma alta produção de biomassa seca e acumular mais de 160 kg/ha de N (LIMA FILHO et al., 2014), teores superiores ao do trigo e outras gramíneas como a aveia preta (ACOSTA et al., 2014). Os teores de potássio (K) geralmente são superiores aos teores de N na palhada nabo forrageiro, sendo que o pico de liberação desses dois nutrientes ocorre em simultâneo, entre 10 e 20 dias após a morte da planta. Porém, a partir desse período, a velocidade de liberação do N diminui e a de K se mantém constante até ser todo disponibilizado. Os teores de P, Ca, Mg e S no nabo forrageiro são mais baixos do que os de K e N, e apresentam padrões similares na velocidade de liberação, tendo o pico entre os 10 e 20 dias (CRUSCIOL

et al., 2008; HEINZ et al., 2011). No trigo, os teores de K também são mais altos do que os teores de N e P, no entanto, a taxa de liberação de N e P vão diminuindo gradativamente de forma constante após o período de término da biomassa, já a liberação de K ocorre rapidamente (OLIVEIRA; BORSZOWSKI, 2020).

O período de manejo das culturas de cobertura é um fator importante a ser considerado para estabelecimento da cultura da soja, pois está relacionado com o grau de decomposição da palhada no período de cultivo da cultura (CRUSCIOL et al., 2008). O nabo forrageiro apresenta relação C/N menor do que o trigo quando o manejo da biomassa ocorre no estágio vegetativo, mas em pleno florescimento ocorre o aumento do teor de lignina e a relação C/N dessas culturas podem ser próximas, ou seja, a velocidade de decomposição de plantas velhas de nabo forrageiro é mais lento (LANG, 2002). A maior concentração de lignina e celulose estão relacionadas com a menor decomposição e liberação de N após a morte da planta (JAHANZAD et al., 2016). Nesse sentido, tanto as plantas de nabo e trigo manejadas no florescimento podem apresentar uma considerável quantidade de resíduo na superfície do solo e se decomporem mais lentamente.

As diferenças entre as culturas de cobertura utilizadas podem interferir nas populações de microrganismos no solo, podendo beneficiar a abundância de um determinado grupo e outros não (FINNEY; BUYER; KAYE, 2017). As plantas também podem modular as populações de bactérias que compõe sua rizosfera por meio de exsudatos que atraem ou repelem (RAY et al., 2020). O nabo forrageiro, por exemplo, não realiza associação micorrízica (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). As micorrizas podem desempenhar um papel importante no aumento da área superficial das raízes e melhorar a absorção de nutrientes como o fósforo e nitrogênio pelas plantas (PARINSKE, 2008).

As plantas de cobertura utilizadas não podem favorecer demasiadamente apenas um grupo de bactérias, pois estas podem competir com outras bactérias

benéficas na rizosfera da planta, podendo prejudicar as culturas cultivadas em sucessão. O *A. brasilense* foi capaz de reduzir os componentes produtivos de milho e arroz quando essas culturas foram cultivadas em resíduos de plantas de coberturas com baixa relação C/N (GITTI et al., 2012; PORTUGAL et al., 2017). Já Lima (2020) verificou que a inoculação de milho com *A. brasilense* no sistema de rotação nabo forrageiro/milho foi prejudicial para a produtividade de grãos. Na cultura da soja, o uso de plantas de cobertura no inverno também pode influenciar na consorciação do *A. brasilense* com *Bradyrhizobium*.

As condições às quais as bactérias inoculadas na soja são submetidas, podem alterar a forma em que interagem com a planta e entre si. O *A. brasilense* pode se tornar um competidor quando se encontra concentrações mais elevadas que o *Bradyrhizobium*, sendo que isso pode ocorrer quando é realizada a inoculação consorciada com doses de inoculante maiores de *A. brasilense*. Normalmente, a concentração de *A. brasilense* no inoculante é dez vezes menor do que a de *Bradyrhizobium* para que não ocorra prejuízo à simbiose (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013). No entanto, o ambiente de cultivo possui forte influência sobre a dinâmica das bactérias no solo, o qual pode favorecer ou não determinadas populações de microrganismos.

As plantas de cobertura podem alterar a umidade (RIBEIRO et al., 2016), temperatura (RODRIGUES et al., 2018), matéria orgânica (WULANNINGTYAS et al., 2021), pH (BUCKLEY; SCHMITD, 2001), disponibilidade de nutrientes (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2018; LANDRISCINI et al., 2019) e a densidade do solo (GUBIANI, 2020). Essas alterações podem influenciar as bactérias e as culturas cultivadas em sucessão. No entanto, um melhor ambiente para o desenvolvimento das bactérias e a cultura da soja pode ser alcançado realizando o manejo tardio da biomassa de culturas de cobertura como o nabo forrageiro e o trigo, sendo que este deve ocorrer mais próximo da semeadura da soja.

Considerações finais

Os microrganismos utilizados como promotores de crescimento, fixadores de nitrogênio ou solubilizadores de nutrientes possuem especificidades para que as interações sejam realmente efetivas. Nesse sentido, o ambiente (plantas de cobertura antecessoras), o pH do solo, teores de macro e micronutrientes no solo, concentração de microrganismos a serem introduzidos e os nativos do solo interagem mutuamente. Além disso, não existem resultados e condicionantes únicos para ampliar a eficiência desses microrganismos. Então, deve-se criar ambientes para o estabelecimento e desenvolvimento dos microrganismos, bem como entender que os MOS fazem parte de um sistema que deve estar bem estabelecido para que os seus efeitos sejam percebidos pelas plantas. Resultando assim em ampliação da produtividade, redução dos custos, mitigação dos impactos ambientais e melhoria das condições de vida do produtor rural.

Referências

- ACOSTA, J. A. de A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- ALVA, A. K. et al. Nodulation and early growth of soybean mutants with increased nodulation capacity under acid soil infertility factors. *Agronomy Journal*, v. 80, p. 836-841, 1988.
- ALVAREZ, J. W. R. Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 84p., 2004.
- ARAUJO, F. F. et al. *Bacillus subtilis* changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. *Rhizosphere*, v. 18, p. 100348, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100348>. Acesso: 27 jul. 2022.

- ARAÚJO, F. F.; GUABERTO, L. M.; DA SILVA, I. F. Bioprospecção de rizobactérias promotoras de crescimento em *Brachiaria brizantha*. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 41, n. 3, p. 521-527, 2012.
- BALA, A.; GILLER, K. E. Relationships between rhizobial diversity and host legume nodulation and nitrogen fixation in tropical ecosystems. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 76, p. 319-330, 2006.
- BÁRBARO, I. M. et al. Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e coinoculação. Colloquium Agrariae, v. 5, n. 1, p.1-7, 2009.
- BARBOSA, J. Z. et al. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. Applied Soil Ecology, v. 163, p. 103913, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913>. Acesso: 27 jul. 2022.
- BASTOS FILHO, G.; NAKAZONE, D.; BRUGGEMANN, G.; MELO, H. Uma avaliação do plantio direto no Brasil. Revista Plantio Direto, n. 101, p. 14-17, 2007.
- BECANA, M.; WIENKOOP, S.; MATAMOROS, M. A. Sulfur Transport and Metabolism in Legume Root Nodules. Frontiers in Plant Science, v. 9, p. 1-10, 2018.
- BROCH, D. L. et al. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.
- BUCKLEY, D. H.; SCHMIDT, T. M. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. Microbial Ecology, v. 42, n. 1, p. 11-21, 2001.
- BURK, D.; BUMS, R. H. Biochemical nitrogen fixation. Annual Review of Biochemistry, v. 10, n. 1, p. 587-618, 1941.
- CÂMARA GMS (2014) Fixação biológica de nitrogênio em soja. *Informações Agronômicas* 147, 1- 9.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221p.
- CASSÁN, F. et al. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond.

- Biology and Fertility of Soils, v. 56, p. 461-479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso: 27 jul. 2022.
- CASSÂN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. Soil Biology and Biochemistry, v. 103, p. 117-130, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>. Acesso: 27 jul. 2022.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. v.1, 2016. 376p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: Conab, v. 8, p. 1-108, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 27 jul. 2022.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. Bragantia, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.
- DA SILVA, K. et al. Agronomic efficiency of *Bradyrhizobium* pre-inoculation in association with chemical treatment of soybean seeds. African Journal of Agricultural Research, v. 13, n. 14, p. 726-732, 2018.
- DEAK, E. A. et al. Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. Australian Journal of Crop Science, v. 13, n. 8, p. 1327, 2019.
- DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.
- DEKA, A. K.; AZAD, P.; PATRA, S. C. Survival of *Rhizobium* in soil at different pH, temperature and moisture levels. Ecology, Environment and Conservation, v. 12, p. 751-754, 2006.

- DELAMUTA, J. R. M. et al. Polyphasic evidence supporting the reclassification of *Bradyrhizobium japonicum* group Ia strains as *Bradyrhizobium diazoefficiens* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 63, n. 9, p. 3342-3351, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijls.0.049130-0>. Acesso: 27 jul. 2022.
- DESBROSSES, G. J.; STOUGAARD, J. Root nodulation: a paradigm for how plant-microbe symbiosis influences host development pathways. *Cell Host Microbe*, v. 10, p. 348-358, 2011.
- DODD, I. C. et al. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Annals of Applied Biology*, v. 157, n. 3, p. 361-379, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00439.x>. Acesso: 27 jul. 2022.
- DOURADO NETO, D. et al. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2741-2752, 2012.
- EGAMBERDIEVA, D. et al. Coordination between *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* alleviates salt stress in soybean through altering root system architecture. *Journal of Plant Interactions*, v. 12, n. 1, p. 100-107, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1294212>. Acesso: 27 jul. 2022.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2. ed. Massachusetts: Sinauer, 2005. 380 p.
- ESPAÑA, M.; CABRERA-BISBAL, E.; LÓPEZ, M. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from Venezuelan savannas using ¹⁵N. *Interciência*, v. 31, p. 197-201, 2006.
- FAROOQ, M. et al. Micronutrients application through seed treatments: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 12, n. 1, p. 125-142, 2012.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (Febrapdp). Evolução da área de plantio no Brasil. 2021. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/>

- download/14588evolucao-pd-no-bbasil-2021-jpg.jpg. Acesso: 27 jul. 2022.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report 80).
- FERRI, G. C. et al. Effects of associated co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* with *Azospirillum brasilense* on soybean yield and growth. African Journal of Agricultural Research, v. 12, n. 1, p. 6-11, 2017.
- FIGUEIREDO, M. V. B. et al. Microrganismos e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura. 1. ed. Guaíba: Agro Livros, 2008. 568p.
- FINNEY, D. M.; BUYER, J. S.; KAYE, J. P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. Journal of Soil and Water Conservation, v. 72, n. 4, p. 361-373, 2017.
- FUKAMI, J. et al. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. AMB Express, v. 6, n. 1, p. 3, 2016.
- FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>. Acesso: 27 jul. 2022.
- GALINDO, F. S. et al. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, n. 1, p. 1-18, 2016.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, I. et al. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. Geoderma, v. 322, p. 81-88, 2018.
- GETACHEW, Z.; ABERA, G.; BEYENE, S. Rhizobium inoculation and sulphur fertilizer improved yield, nutrients uptake and protein quality of soybean (*Glycine max* L.) varieties on Nitisols of Assosa area, Western Ethiopia. African Journal of Plant Science, v. 11, n. 5, p. 123-132, 2017.

- GITTI, D. D. C. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. *Bragantia*, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012.
- GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen-fixation in perspective: na overview of research and extension needs. *Field Crops Research*, v. 65, p. 93-106, 2000.
- GRAY, E. J.; SMITH, D. L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil biology and biochemistry*, v. 37, n. 3, p. 395-412, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.030>. Acesso: 20 out. 2021.
- GROPPIA, M. D.; ZAWOZINIK, M. S.; TOMARO, M. L. Effect of coinoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* on soybean plants. *European Journal Soil Biology*, v. 34, n. 2, p. 75-80, 1998.
- GUBIANI, P. I. Descompactação do solo ao entorno de uma raiz de nabo forrageiro. *Revista Plantio Direto*, v. 174, p. 4-9, 2020.
- GUERRA, C. A. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2008.
- HACK, C. M. et al. Arbuscular mycorrhiza mediated effects on growth, mineral nutrition and biological nitrogen fixation of *Melilotus alba* Med. in a subtropical grassland soil. *Applied Soil Ecology*, v. 134, p. 38-44, 2019.
- HEINZ, R. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. *Ciência Rural*, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.
- HENNING, A. A.; CAMPO, R. J.; SFREDO, G. J. Tratamento com fungicidas, aplicação de micronutrientes e inoculação de sementes de soja. Londrina: Embrapa Soja, 1997. 7p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 58).

- HILLE, R. The molybdenum oxotransferases and related enzymes. *Dalton Transactions*, v. 42, n. 9, p. 3029-3042, 2013.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. *Ciência Rural*, v. 36, n. 03, p. 822-828, 2006.
- HUNGRIA M; MENDES IC (2015) Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In De Bruijn FJ (eds). *Biological Nitrogen Fixation*, pp. 1009-1023. New Jersey, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- HUNGRIA, M. et al. Seed pre-inoculation with *Bradyrhizobium* as time-optimizing option for large-scale soybean cropping systems. *Agronomy Journal*, v.112, n.6, p.5222-5236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20392>. Acesso: 30 out. 2021.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A Importância do Processo de Fixação Biológica do Nitrogênio para a Cultura da Soja: Componente Essencial para a Competitividade do Produto Brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?. In: DE BRUIJN, F. J. Biological nitrogen fixation. 1.ed. v.2, p.1009-1024, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>. Acesso: 12 out. 2021.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Alternative methods of soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, n. 23, p. 2329-2338, 2015.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.
- INDRASUMUNAR, A.; DART, P. J.; MENZIES, N. W. Symbiotic effectiveness of *Bradyrhizobium japonicum* in

- acid soils can be predicted from their sensitivity to acid soil stress factors in acidic agar media. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 43, n. 10, p. 2046-2050, 2011.
- JAHANZAD, E. et al. Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 4, p. 1735-1741, 2016.
- JEMAL, A.; MOON, Y. S.; ABDIN, M. Z. Enzyme activity assessment of peanut (*Arachis hypogea*L.) under slow-release S fertilization. *Australian Journal Crop Science*, v. 4, n. 3, p. 169-174. 2010.
- JOHANSEN, C. et al. Correcting molybdenum deficiency of chickpea in the high barind tract of Bangladesh. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 170, n. 6, p. 752-761, 2006.
- JORDAN, D. C. Family III *Rhizobiaceae* CONN 1938, 321AL. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. (Eds.). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. v.1, p. 235-244, 1984.
- JUGE, C. et al. Growth and biochemical responses of soybean to double and triple microbial associations with *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* and arbuscular mycorrhizae. *Applied Soil Ecology*, v. 61, p. 147-157, 2012.
- KELLY, D. P.; WOOD, A. P. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 50, n. 2, p. 511-516, 2000.
- KHAN, M. A. et al. Halotolerant rhizobacterial strains mitigate the adverse effects of NaCl stress in soybean seedlings. *BioMed research international*, v. 2019, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9530963>. Acesso: 10 out. 2021.

- KRISHNAN, H. B.; JEZ, J. M. The promise and limits for enhancing sulfur-containing amino acid content of soybean seed. *Plant science*, v. 272, p. 14-21, 2018.
- LANDRISCINI, M. R. et al. Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. *Applied Soil Ecology*, v. 133, p. 124-131, 2019.
- LANG, C. R. Dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes da palhada de aveia preta e nabo forrageiro cortadas em diferentes estágios de desenvolvimento. *Scientia Agraria*, v. 3, n. 1-2, p. 115, 2002.
- LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília-DF, Embrapa, 2014.
- LIMA, C. dos S. Rendimento da cultura do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* associado às diferentes doses de nitrogênio e plantas de cobertura. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul), 2020.
- LOPES, M. E. B. M.; LEONEL JÚNIOR, F. L. Efeito da aplicação de fungicidas, cobalto e molibdênio em sementes de soja sobre a sanidade, emergência e produtividade da cultura. *Revista de Agricultura*, v. 75, p. 87-86, 2000.
- LUCHETA, A. R.; LAMBAIS, M. R. Enxofre na agricultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 5, p. 1369-1379, 2012.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MARKS, B. B. et al. Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. *AMB Express*, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2191-0855-3-21>. Acesso. Acesso 18 set. 2021.

- MARÓTI, G.; KONDOROSI, É. Nitrogen-fixing *Rhizobium*-legume symbiosis: are polyploidy and host peptide-governed symbiont differentiation general principles of endosymbiosis?. *Frontiers in Microbiology*, v. 5, p. 326, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00326>. Acesso. Acesso 20 set. 2021.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1986. 674 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. Principles of plant nutrition. 5. ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MOLLA, A. H. et al. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory systems. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, n. 4-5, p. 457-463, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00186-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00186-3). Acesso 25 set. 2021.
- MOREIRA, F. M. M.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras: Editora da UFLA, 2006. 726p.
- MORETTI, L. G. et al. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. *Agronomy Journal*, v. 112, n. 1, p. 418-428, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>. Acesso 21 set. 2021.
- MÜLLER, T; BEHRENDT, U. Exploiting the biocontrol potential of plant-associated pseudomonads—a step towards pesticide-free agriculture?. *Biological Control*, v. 155, p. 104538, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104538>. Acesso 1 set. 2021.
- OLANREWAJU, O. S. et al. Plant health: feedback effect of root exudates-rhizobiome interactions. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 103, n. 3, p. 1155-1166, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9556-6>. Acesso 5 set. 2021.

- OLIVEIRA JÚNIOR, A. O. et al. Soja. In: PROCHNOW, L. I. et al. (Ed.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 3, p. 5-42.
- OLIVEIRA, D. L.; BORSZOWSKI, P. R. Taxa de decomposição da palhada de trigo e liberação de NPK em sistema de plantio direto no município de Ponta Grossa-PR. *Revista TechnoEng*, v. 1, p. 2178-3586, 2020.
- PARINSKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis. *Nature Reviews Microbiology*, v. 6, n. 10, pág. 763-775, 2008.
- PARK, Yeon-Gyeong et al. *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. *PLoS One*, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>. Acesso 8 set. 2021.
- PEREG, L.; DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. Assessment of affinity and specificity of *Azospirillum* for plants. *Plant and Soil*, v. 399, n. 1-2, p. 389-414, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2778-9>. Acesso 18 set. 2021.
- PÉREZ-MONTAÑO, F. et al. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, v. 169, n. 5-6, p. 325-336, 2014.
- PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 4, p. 639, 2017.
- PRADO, R. M. Nutrição de plantas. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.
- PUENTE, M. L. et al. Improvement of soybean grain nutritional quality under foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* strain Az39. *Symbiosis*, v. 77, n. 1, p. 41-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0568-x>. Acesso 22 set. 2021.

- QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, p. 375-383, 1993.
- QUEIROZ REGO, C. H. et al. Co-inoculation with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* Increases Yield and Quality of Soybean Seeds. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 6, p. 2302-2309, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.04.0278>. Acesso 18 set. 2021.
- RAMESH, A. et al. Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhatai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. *Applied Soil Ecology*, v. 73, p. 87-96, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.009>. Acesso 14 set. 2021.
- RAY, P. et al. Microbe to microbiome: A paradigm shift in the application of microorganisms for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 3323, 2020.
- RIBEIRO, L. Da S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.
- RODRIGUES, G. A. et al. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 1, p. 293-304, 2018.
- ROLIM, L. et al. Identification of soybean *Bradyrhizobium* strains used in commercial inoculants in Brazil by MALDI-TOF mass spectrometry. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 50, n. 4, p. 905-914, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00104-3>. Acesso 18 set. 2021.
- RUFINI, M. et al. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 81-88, 2011.

- SAIK, R. D. The evolution of a sulphur bentonite fertilizer: one company's perspective. *Sulphur in Agriculture*, v. 19, p. 74-77, 1995.
- SAXENA, A. K. et al. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of applied microbiology*, v. 128, n. 6, p. 1583-1594, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14506>. Acesso. 27 de set. 2021.
- SCHMIDT, R. et al. Microbial small talk: volatiles in fungal-bacterial interactions. *Front Microbiol*, v.6, p. 1495, 2016.
- SHAHID, I.; MALIK, K. A.; MEHNAZ, S. A decade of understanding secondary metabolism in *Pseudomonas* spp. for sustainable agriculture and pharmaceutical applications. *Environmental Sustainability*, v. 1, n. 1, p. 3-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0006-2>. Acesso. 30 de set. 2021.
- SHAMSELDIN, A. Use of DNA marker to select well-adapted Phaseolus-symbionts strains under acid conditions and high temperature. *Biotechnol Lett*, 29:37-44, 2007. DOI: 10.1007/s10529-006-9200-x
- SIBPONKRUNG, S. et al. Co-inoculation of *Bacillus velezensis* strain S141 and *Bradyrhizobium* Strains promotes nodule growth and nitrogen fixation. *Microorganisms*, v. 8, n. 5, p. 678, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050678>. Acesso. 11 de out. 2021.
- SILVA, A. F. et al. Inoculação com *Bradyrhizobium* e formas de aplicação de cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 12, p. 98- 104, 2011.
- SILVA, E. R. et al. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)?. *Archives of microbiology*, v. 201, n. 3, p. 325-335, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-018-01617-5>. Acesso. 14 de out. 2021.

- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.
- SOUZA, L. H. et al. Effect of pH of rhizospheric and non-rhizospheric soil on boron, copper, iron, manganese, and zinc uptake by soybean plants inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 5, p.1641-1652, 2010.
- STECCA, J. D. L. et al. Inoculation of soybean seeds coated with osmoprotector in diferents soil pH's. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 41, 2019.
- SUN, W. et al. Effects of inoculation with organic-phosphorus-mineralizing bacteria on soybean (*Glycine max*) growth and indigenous bacterial community diversity. Canadian journal of microbiology, v. 63, n. 5, p. 392-401, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2016-0758>. Acesso. 28 de out. 2021.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Efeito do gesso agrícola e do calcário aplicados em solo ácido na composição química das folhas, teores e produtividade de proteína e óleo da soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBCS, 1992. p. 354-355.
- TARIQ, M. et al. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, v. 70, n. 6, p. 507-524, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784262>. Acesso. 21 de out. 2021.
- TIECHER, T. et al. Evolução e estado da fertilizade do solo no norte do Rio Grande do Sul e Sudoeste de Santa Catarina. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

- TIEN, T. M.; GASKIN, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) Applied and Environmental Microbiology, v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.
- VARIN, S. et al. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.)?. Journal of Experimental Botany, v. 61, n. 1, p. 225-234, 2010.
- VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO. Manejo do enxofre na agricultura. Informações Agronômicas, nº 152, p. 1 – 14, 2015.
- WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. Journal of experimental Botany, v. 52, n. suppl_1, p. 487-511, 2001. DOI: https://doi.org/10.1093/jexbot/52.suppl_1.487. Acesso. 21 de out. 2021.
- WULANNINGTYAS, H. S. et al. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. Soil and Tillage Research, v. 205, p. 104749, 2021.
- YOUSUF, J. et al. Nitrogen fixing potential of various heterotrophic *Bacillus strains* from a tropical estuary and adjacent coastal regions. Journal of basic microbiology, v. 57, n. 11, p. 922-932, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201700072>. Acesso. 25 de out. 2021.
- ZHOU, Y. et al. Efficacy of *Bacillus megaterium* strain Sneb207 against soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in soybean. Pest Management Science, v. 77, n. 1, p. 568-576, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.6057>. Acesso. 21 de out. 2021.
- ZHOU, Y. et al. Management of the soybean cyst nematode *Heterodera glycines* with combinations of different rhizobacterial strains on soybean. PloS One, v. 12, n. 8, p. e0182654, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194287>. Acesso. 4 de out. 2021.



2 – Genética, Melhoramento e Tecnologia de Sementes

ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO PARA A SOJA

Ivan Ricardo de Carvalho¹ e Riteli Baptista Mambrin²

¹ Professor e Pesquisador da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS. ivan.carvalho@unijui.edu.br

² Professora do Centro de Ensino Superior Riograndense. ritimambrin@gmail.com

Introdução

O melhoramento genético de plantas apresenta-se como uma valiosa estratégia para incrementar a produtividade biológica das culturas de maneira sustentável. Sabe-se que a agricultura evoluiu com a implementação desta prática, pois buscou-se a melhoria da qualidade e produtividade do produto final. Na cultura da soja, a realidade não foi diferente às demais culturas. Estima-se que pelo menos metade do incremento da produtividade das cultivares da soja comercializadas nos últimos 50 anos, seja atribuída ao melhoramento de plantas (PINTO, 2014).

A soja necessita de um contínuo estudo e conhecimento da espécie, bem como, das relações com o ambiente em que é cultivada, tornando, dessa forma, a pesquisa e as características para formação de novas cultivares cada vez mais eficientes. No Brasil as pesquisas iniciaram na década de 30 e se estendem até hoje (ASMUS, 2018). Atualmente, a utilização de novas cultivares de soja, inegavelmente, apresenta-se como uma das tecnologias que mais potencializa a produtividade e a estabilidade de produção, com mínimos custos adicionais ao agricultor.

A cultura apresenta ampla variabilidade genética quanto à sua área de adaptação, sensibilidade ao fotoperíodo e resposta às características edafoclimáticas.

O esforço do melhoramento foi contínuo e concentrado na obtenção de cultivares com alto potencial produtivo, adaptada às mais variadas regiões de cultivo (EMBRAPA, 2013). Atualmente os programas de melhoramento da soja objetivam incrementar estabilidade fenotípica, os aspectos voltados ao rendimento, bem como, identificar possíveis resistências e tolerâncias às doenças, insetos-praga e nematoides associados à cultura, ausência de acamamento e deiscência do legume, qualidade fisiologia da semente e o ideótipo agrônomico desejado pelo sistema agrícola da região produtora.

Os progressos genéticos referem-se às alterações obtidas nas características de interesse, isto pode ser obtido por estratégias de seleção, recombinação e induções de mutação. Tais modificações ocorrerão em magnitude e sentidos variados, dependendo da estratégia e dos critérios de seleção adotados. Assim, uma das atribuições mais importantes do melhorista de plantas é identificar critérios de seleção capazes de promover alterações desejadas para o programa de melhoramento específico (REIS et al., 2014).

Um fator fundamental no processo de obtenção de genótipos da soja são os ensaios de progênies, ensaios de diferenciação, homogeneidade e estabilidade, bem como, aqueles destinados ao valor de cultivo e uso. As técnicas de avaliação do progresso genético que utilizam informações obtidas em testes obrigatórios com estes genótipos nos programas permitem o acompanhamento da eficiência e sentido da seleção, ganho genético e posicionamento estratégico eficiente em ambientes específicos (FARIA et al., 2015). Este acompanhamento fornece subsídios importantes para a avaliação e o planejamento das atividades de melhoramento e possíveis direcionamentos a níveis de mercado específico.

O grande desafio do melhorista é desenvolver cultivares superiores às já existentes no mercado. Para isso, existem métodos de melhoramento apropriados, os quais são determinados de acordo com o sistema reprodutivo e objetivos do programa. No melhoramento

genético da soja o produto final comercializado trata-se de uma linha pura, que pode ser obtida por várias formas, sendo estas, introdução de germoplasma exógeno, seleção direta e indireta em populações ou famílias segregantes, hibridação direcionadas através de genitores contrastantes e indução de mutação química ou física. A introdução de plantas representa-se como uma maneira simples de obter germoplasma com o objetivo principal do uso imediato do material introduzido como nova cultivar. A seleção por sua vez é uma opção fundamental no melhoramento da soja, pois consiste em processos naturais e artificial que incidem sobre as progênes e proporcionam a seleção dos indivíduos transgressivos. Nesta etapa escolhe-se dentro de uma população heterogênea indivíduos que apresentam as melhores características agronômicas (BUENO, MENDES, CARVALHO, 2006).

As hibridações são voltadas a recombinação onde utilizam pool gênicos específicos, busca-se compilar genitores contrastantes para que então as gerações segregantes posteriores evidenciem a máxima variabilidade genética para as características agronômicas. Portanto, incrementa-se a variação genotípica para que então seja possível aplicar métodos e estratégias de seleção direcionadas a atender os objetivos e premissas do programa.

Critérios de seleção baseados no ideótipo agrônomico

O conceito de ideótipo de planta é um termo utilizado para designar uma planta tida como ideal para um determinado local e objetivo de cultivo, ou seja, se apresenta como um modelo e suas características são as mais propícias para sua determinada utilização. No entanto, este modelo é questionado por alguns pesquisadores, pois torna-se difícil definir um ideótipo adequado para as mais variadas condições de cultivo, sendo estes altamente influenciados pelas características do ambiente. Embora exista controvérsia, a inclusão de parâmetros no processo de seleção de plantas é considerada uma ferramenta que diminui as informações empíricas no melhoramento genético e pode aumentar a eficiên-

cia dos recursos para a obtenção de um novo genótipo (CARVALHO et al., 2018).

A planta da soja pode ser caracterizada por vários parâmetros os quais possuem funções específicas que contribuem à expressão de seu potencial genético. Podem ser citados os caracteres morfológicos que atuam intimamente nos processos fisiológicos da planta, os componentes do rendimento que possuem papel fundamental na determinação do potencial produtivo dos genótipos, os componentes bromatológicos relacionados a aptidão alimentar e nutricional dos grãos desta oleaginosa (CARVALHO et al., 2017).

Ideótipo para características morfológicas da soja *Hábito de crescimento*

A soja apresenta os hábitos de crescimento determinado, semi-determinado e indeterminado. Esta característica é oriunda do par de alelos Dtdt, sendo o homozigoto recessivo causador do fenótipo com hábito de crescimento determinado. Os genótipos da soja com hábito de crescimento determinado possuem haste terminada com racemos florais, ou seja, após a emissão dos últimos racemos florais a planta incrementa pouco sua estatura. Genótipos com hábito de crescimento indeterminado não apresentam racemos florais terminais, por isso continuam desenvolvendo nós na haste e podem incrementar sua estatura (CARVALHO et al., 2017).

Altura da planta

A busca por genótipos da soja com estatura intermediária pode reduzir as perdas por acamamento e durante a colheita. Este caráter apresenta alta herdabilidade com sentido amplo (H^2 : 0,95) e grande variação genética. O melhoramento prioriza a seleção de plantas com 70 a 75 centímetros (CARVALHO et al., 2016).

Altura de inserção do primeiro legume

Os genótipos da soja atualmente cultivados possuem uma menor distância entre o primeiro legume

viável da haste principal e a superfície do solo, quando comparado aos genótipos antigos. Isso é decorrente do maior número de ramificações, uso de populações e distribuições de plantas mais precisamente na linha de semeadura. No entanto, a altura de inserção deve apresentar-se entre 10 a 15 centímetros. Para este caráter a herdabilidade com sentido amplo pode expressar magnitudes de até H^2 : 0,53 (CARVALHO et al., 2018).

Ramificações

As ramificações são importantes estruturas que possibilitam maximizar o potencial genético da soja, diretamente com a produção de estruturas reprodutivas, e indiretamente com a manutenção da área foliar fotossinteticamente ativa. Para o índice de área foliar (IAF) as ramificações contribuem com até 31% em genótipos com hábito de crescimento determinado e 20% para o hábito de crescimento indeterminado. O número de ramificações da soja situa-se em torno de 2 ramificações por planta.

Arquitetura foliar

O avanço do cultivo da soja no Brasil resultou na modificação da arquitetura foliar das plantas, onde passou de uma planta com alta área foliar, folhas grandes e arredondadas, para uma planta com menor índice de área foliar, folhas lanceoladas e compridas. Este aspecto possibilitou a maior eficiência na redistribuição dos fotoassimilados nos órgãos da planta minimizando o auto sombreamento.

Estrutura reprodutiva

Apesar da soja apresentar elevado potencial produtivo parte deste pode ser perdido devido a abscisão de flores, legumes e grãos. Outro aspecto, é a coloração das flores que variam em branca (alelo $w1$) a púrpura (alelo $W1$), sendo estas intrínsecas as características do genótipo e níveis de antocianina. Este par de alelos determina a cor do hipocótilo das plântulas da soja devido

a pleiotropia, sendo considerado um marcador genético morfológico extremamente importante no melhoramento e produção de sementes (ALLARD, 1971).

Ideótipo para os componentes do rendimento da soja
Número de legumes por planta

Este aspecto caracteriza-se como de alta importância para definir a produtividade da soja, sendo a soja expressa de 44 a 62 legumes por planta, sendo que a herdabilidade com sentido amplo apresenta-se de $H^2:0,11$ indicando grande efeito do ambiente de produção neste caráter. A maior fração dos legumes está contida na haste principal (66%) e 34% dos legumes nas ramificações (CARVALHO et al., 2018).

Número de grãos no legume

Este caráter deve ser considerado nos programas de melhoramento da soja por estar intimamente relacionado com a produtividade de grãos. Para Carvalho et al. (2016), a seleção prioritária é obter a maximização de legumes com 2 a 3 unidades de grãos.

Massa do grão ou massa de mil grãos

Considera-se imprescindível para o potencial produtivo da soja, busca-se selecionar genótipos com massa de mil grãos que expressem 160 a 271 gramas (Carvalho et al., 2016).

Ideótipo para os componentes bromatológicos dos grãos da soja

Proteína bruta

A fração protéica contida nos alimentos é primordial às dietas tanto de animais como de humanos, estas evidenciam aminoácidos essenciais e não essenciais tais como, histidina, isoleucina, leucina, lisina, treonina, triptofano, valina, aminoácidos sulfurados (metionina + cistina) e aminoácidos aromáticos (fenilalanina + tirosina). O conteúdo de proteína bruta nos grãos da soja apresenta-se muito variado onde os efeitos genéticos são pouco

pronunciáveis, em contrapartida, o ambiente incide com alta contribuição na magnitude deste caráter, algumas pesquisas revelam a possibilidade de obter grãos com até 47% de proteína bruta. Em pesquisas realizadas na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, o autor obteve variações de 31 a 37% de proteína bruta em cultivos na safra 2019/2020, esta baixa proeminência foi decorrente de períodos de estresse hídrico e alta frequência de grãos esverdeados.

Extrato etéreo ou lipídios totais

O extrato etéreo é composto por substâncias como gorduras, óleos, pigmentos e outros. Embora sua concentração nos grãos da soja seja relativamente pequena, em torno de 3% da matéria seca total do grão, estudos obtiveram amplitude de 3 a 4% deste caráter. Deste modo, sua determinação torna-se importante, pois é possível obter genótipos enriquecidos com elevada concentração de lipídios nos grãos, podendo ser estes destinados à extração de óleos vegetais e o farelo direcionado à fabricação de concentrados mais energéticos aos animais.

Fibra bruta

Por mais que a fibra constitua a fração da dieta de difícil digestão, apresenta baixo valor nutritivo, mas favorece os movimentos peristálticos intestinais do animal e auxiliam na regulação da taxa e tempo de passagem no trato digestivo dos animais. Desta forma, o conteúdo de fibra bruta nos grãos da soja situa-se em torno de 7 a 10%.

Energia bruta

A energia bruta é oriunda da oxidação total da matéria orgânica dos alimentos e apresenta a denominação da magnitude de calorías totais fornecida pelo alimento. Os grãos da soja apresentam em torno de 5051,4 calorías por grama de matéria seca de grãos.

Lignina

Este composto presente na parede celular das plantas, juntamente à celulose e à hemicelulose, a lignina confere maior rigidez à célula e aos tecidos, mas dificulta a digestibilidade do concentrado pelo trato digestivo dos ruminantes. Os teores de lignina encontrados nos grãos da soja situam-se em torno de 2,3 % da massa seca total dos grãos.

Material mineral ou fração inorgânica

A fração mineral corresponde à totalidade de elementos contidos nos grãos e pode ser relacionada com o conteúdo de cinzas, desta forma identifica-se até 5,2% do grão formado com a fração inorgânica.

Critérios para escolha dos genitores para a recombinação gênica

A escolha dos genitores apresenta-se crucial ao melhoramento da soja, pois a busca pelo incremento da variabilidade genética através de vários eventos meióticos e recombinações gênicas é possível devido à complementaridade dos genótipos utilizados nas hibridações. Diante disto, o sucesso do programa de melhoramento é embasado na escolha eficiente do germoplasma utilizado, a eficiência em obter combinações transgressivas e a habilidade em identificar genótipos superiores. A seleção do germoplasma utilizado para compor os blocos de cruzamento deve ser amparada por informações a priori sobre o genótipo e o emprego eficaz de procedimentos científicos. Dentre as várias decisões que o melhorista deve tomar no decorrer das gerações de melhoramento, a escolha do germoplasma caracteriza-se como a mais impactante no sucesso do programa e as atenções devem ser redobradas na presença de combinações que refletem médias elevadas para os caracteres de interesse e ainda evidenciam alta variabilidade genética. As informações referentes aos caracteres morfológicos e aos componentes do rendimento dos genitores se apresentam imprescindíveis. Contudo, ganhos satisfatórios em

um menor espaço de tempo são obtidos quando se compreende a capacidade combinatória presente entre as diferentes constituições genéticas. Neste contexto, existem várias ferramentas e estratégias que possibilitam evidenciar quais seriam os genitores mais adequados, tais como, o valor per se dos genitores, características fenotípicas adequadas, genealogia dos genitores, teste de geração precoce, capacidade combinatória, marcadores moleculares, metodologia de Jinks e Pooni (1976) e a distância genética estimada.

-*Valor per se dos genitores*: este critério é utilizado quando o cruzamento é efetuado entre genótipos elites, com médias elevadas, onde a fração genética é composta por maiores proporções aditivas, sendo embasada na experiência prática do melhorista.

-*Características fenotípicas adequadas*: muitas vezes, a experiência do melhorista e as necessidades do agricultor culminam na definição de um ideótipo de planta que se apresenta adequado agronomicamente. Portanto, neste critério busca-se a complementaridade entre os genótipos a serem cruzados, sendo eficiente para os caracteres que estejam correlacionados, pois ao reunir genitores com características desejáveis teoricamente, estas estarão contidas nas progênes obtidas.

- *Genealogia dos genitores*: nesta situação utilizam-se genótipos que apresentam características marcantes, tais como, elevados rendimentos de grãos, estabilidade de produção, tolerância a estresses bióticos ou abióticos, onde considera-se a origem do genótipo e a base genética constituinte (ALLARD, 1971).

- *Teste de geração precoce*: esta ferramenta permite revelar precocemente os melhores cruzamentos. Diante disto, a geração F1 evidencia um baixo valor preditivo e a geração F2 expressa valor preditivo moderado. No entanto, é na geração F3 que as progênes são avalia-

das e demonstram resultados mais consistentes. Nestas condições, as progênes inferiores são descartadas e as superiores são mantidas para as próximas gerações. Utiliza-se este método com a finalidade de incrementar o número de progênes superiores à média da população F2 de origem (ALLARD, 1971).

- *Capacidade combinatória*: as hibridações realizadas entre os potenciais genitores reorganizam a constituição genética das progênes formadas, onde a escolha de quais genótipos podem ser utilizados é determinante para favorecer a obtenção de genótipos transgressivos em relação aos pais. Desta maneira, a capacidade geral de combinação refere-se à habilidade do genitor em combinar-se com uma série de outros genótipos e baseia-se na fração aditiva, em contrapartida, a capacidade específica de combinação refere-se ao cruzamento específico entre dois genitores e baseia-se nos efeitos não aditivos (ALLARD, 1971).

- *Marcadores genéticos moleculares*: podem ser utilizados para estimar as distâncias genéticas entre os genitores, não sendo acometidos pela influência dos efeitos do ambiente, podem determinar grupos de genótipos com constituição gênica distinta e predizer a constituição das progênes geradas (BORÉM et al., 2017).

- *Metodologia de Jinks e Pooni (1976)*: apresenta-se aplicável nas gerações iniciais de melhoramento, onde possibilita a seleção ou o descarte da população F2, sendo este desenvolvido com ênfase aos caracteres quantitativos, controlados por muitos genes, e altamente influenciados pelas condições do ambiente de cultivo. Seus resultados indicam a probabilidade de obter progênes superiores oriundas de um determinado cruzamento, sendo baseado nas propriedades da distribuição normal (ALLARD, 1971).- *Distância genética*: Estas técnicas biométricas podem utilizar caracteres morfológicos, fisiológicos, componentes do rendimento de grãos, molecula-

res e bromatológicos, para serem interpretados de forma conjugada para gerar uma tendência única. Isso poderá auxiliar o melhorista na escolha eficiente dos genitores de forma multivariada. Maiores distâncias entre os genitores podem evidenciar elevada variabilidade genética e diferentes frequências alélicas. Contudo, nem todos os alelos apresentam-se favoráveis. A seleção dos genitores através da distância genética é eficaz quando conjugada a média do caráter de interesse (ALLARD, 1971).

Procedimentos envolvidos na hibridação da soja

Após a escolha eficiente dos genitores e o estabelecimento do bloco de cruzamentos, é necessário o entendimento da estrutura floral da soja. Sendo esta uma espécie caracterizada como leguminosa e pertencente à família Fabaceae, é composta por flores perfeitas ou hermafroditas. Sendo estas formadas por quatro carpelos, sépalas e pétalas responsáveis pela proteção da flor, o gineceu e androceu são caracterizados como os órgãos reprodutivos. O sistema reprodutivo desta espécie é baseado na autofecundação de suas flores, sendo este fenômeno facilitado pela cleistogamia, que consiste na fecundação das flores antes da abertura do botão floral (CARVALHO et al., 2017).

Devido a estas características peculiares, alguns procedimentos específicos devem ser realizados durante a hibridação da soja. O cruzamento dirigido apresenta-se como a principal forma de obter novos genótipos da soja, mas a eficiência do processo de hibridação é dependente de condições ideais do cultivo em ambiente protegido ou a campo, requer mão-de-obra qualificada, é dependente da época do ano e do período do dia em que o cruzamento é realizado. Pesquisas definem que a umidade relativa do ar, quando muito elevada, tende a reduzir a eficiência do melhorista devido às menores proporções de flores fertilizadas artificialmente e ao número de sementes híbridas obtidas na soja (CARVALHO et al., 2017).

Com base nas informações fornecidas pelo Programa de Melhoramento Genético da Soja IRC localizado no município de Campos Borges – RS onde desenvolve esta atividade desde 2010, nas condições do Rio Grande do Sul os melhores índices de fecundação e formação de sementes heterozigotas são obtidos em ambiente natural com a condução dos genitores utilizando sistema de irrigação por gotejamento para minimizar o molhamento foliar e das estruturas reprodutivas, nestas condições ótimas obtém-se em torno de 15% de sucesso nas hibridações e formação de sementes F1s viáveis. De acordo com o conhecimento do pesquisador Ivan Ricardo Carvalho, nestas condições o melhor período para realizar a hibridação compreende das 9 horas até 11 horas, pois a faixa de temperatura e umidade do ar apresentam-se ótimas, resultados estes baseados em 10 anos de hibridações e mais de 1000 cruzamentos realizados. Ao passo que as horas do dia avançam o número de sementes formadas no legume tendem a reduzir, e as maiores proporções de sementes heterozigotas são obtidas através de legumes com apenas um óvulo.

A magnitude de genitores utilizados em um bloco de cruzamentos da soja apresenta-se dependente das condições de trabalho disponíveis pelo melhorista, e de quais são os objetivos impostos pelas diretrizes do programa de melhoramento. Os genitores que compõem o bloco de cruzamento devem ser atualizados anualmente, com base nas tendências de mercado atual e futuro, bem como, as carências expressas pelo cenário agrícola.

Abaixo algumas premissas

Seleção da flor: preconizou-se utilizar flores localizadas na haste principal da planta (flores a serem emasculadas), e as flores doadoras de pólen foram coletadas preferencialmente nas ramificações da planta.

Emasculação: a emasculação consiste na remoção do androceu masculino (filetes e anteras) da flor hermafrodita, preconiza-se que o gineceu permaneça intacto, de

modo a não comprometer a fertilização e a formação das sementes híbridas. Este procedimento se destaca devido ao mecanismo de cleistogamia, onde a fecundação do estigmas correu previamente à exposição e abertura das pétalas, sendo vital identificar o ponto específico da emasculação para prevenir a autofecundação.

Coleta do pólen: foi realizada através de três flores localizadas nas ramificações do genitor paterno, visando minimizar a heterogeneidade da maturidade do pólen e a abertura das anteras.

Polinização: este procedimento ocorre nas flores emasculadas, onde se direciona o pólen (genitor paterno) sobre o estigma (genitor materno), utilizando-se agulhas extra-finas e pinças.

Identificação do cruzamento: baseado na simples genealogia empregada no cruzamento, para isto, utilizou-se uma sequência numérica representando os genitores, data e hora da realização do cruzamento.

Caracteres mensurados

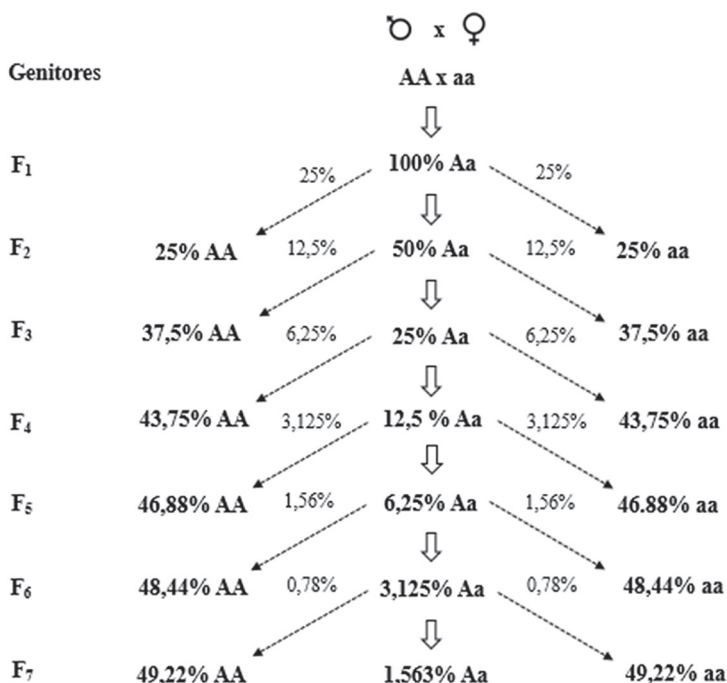
Hora do cruzamento (HC): identificação do momento exato da finalização do cruzamento, resultado em unidades de hora.

Número de sementes formadas (NSF): evidenciou-se a contagem da magnitude de sementes viáveis formadas no cruzamento, resultado em unidades.

Índice de pega (IP): definiu-se a razão entre o número de legumes formados com sementes viáveis e a magnitude de cruzamentos realizados por ano agrícola, resultados em percentual.

Busca-se a obtenção de grandes populações F2 para que seja possível a expressão da máxima variação genética decorrente dos efeitos da recombinação gênica

entre as constituições genéticas dos genitores utilizados. Populações com maior número de indivíduos possibilitam a formação de maior número de classes fenotípicas para o caráter de interesse e assim, probabilidades superiores de obter famílias transgressivas que atendam o interesse agrônômico e o ideótipo da soja. Neste contexto, buscam-se obter a maior magnitude de famílias F3 superiores e oriundas de cada população F2 e com isso, as probabilidades de identificar genótipos com elevado potencial serão maiores. A seguir apresentam-se um esquema teórico da segregação padrão para espécies autógamas que pode ser utilizado para basear as estratégias de seleção e decisões em um programa de melhoramento da soja (ALLARD, 1971).



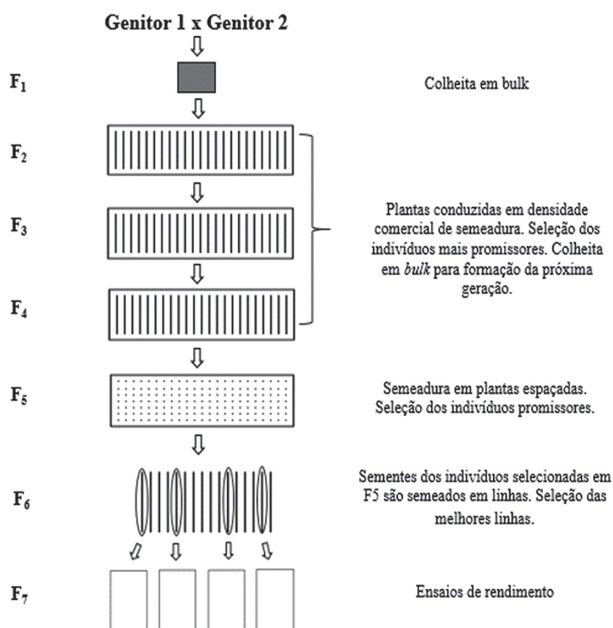
Segregação padrão baseada na recombinação dos genitores endogâmicos (AA - Alelos dominantes em homozigose, aa - Alelos recessivos em homozigose, Aa - Alelos em heterozigose).

Métodos de seleção e condução de gerações segregantes

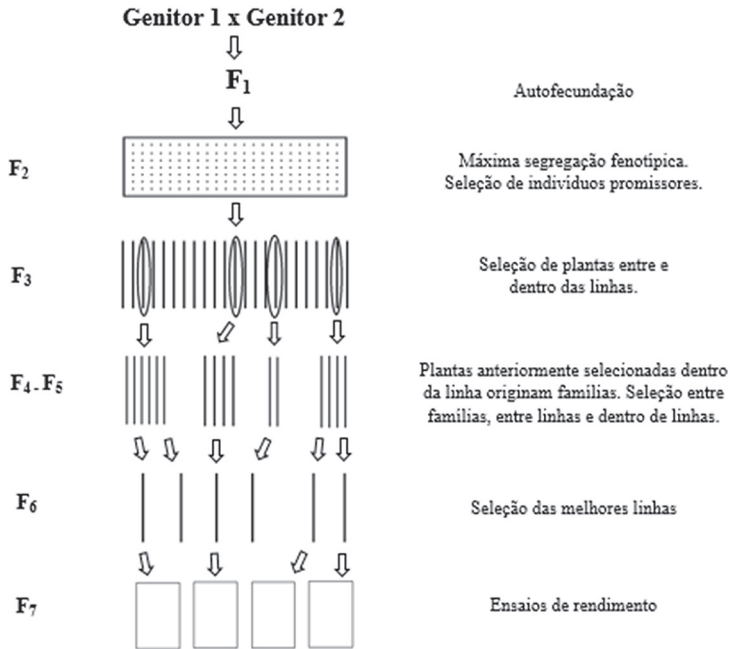
Um programa de melhoramento genético da soja que visa obter novos genótipos deve possuir uma sistematicidade organizada e seguir etapas como a definição dos objetivos, escolha dos genitores, hibridações, formação de populações segregantes, escolha do método de condução e seleção, elaboração dos ensaios competitivos, registro e proteção do genótipo, multiplicação e distribuição das sementes (CARVALHO et al., 2016). A seleção de genitores apresenta-se importante para a obtenção de novos genótipos, pois se busca a complementaridade gênica a fim de incrementar a expressão dos caracteres agrônômicos de interesse. Após a seleção dos genótipos com características de interesse e que atendam os objetivos propostos, organizam-se os blocos de cruzamentos com a finalidade de proporcionar populações segregantes com elevada expressão dos caracteres objetivados.

A soja possui flores hermafroditas, onde a cleistogâmia proporciona a autofecundação através da capacidade da flor de fecundar-se antes da abertura das pétalas. Nestas condições, o melhorista promove a emasculação da flor e retira as anteras. Posteriormente, direcionam-se as anteras com pólen viável do genitor masculino, com deposição sobre o estigma da flor emasculada, identificando o cruzamento com as devidas informações cabíveis (ALLARD, 1971). Os cruzamentos viáveis geram indivíduos totalmente heterozigotos (F1s) que resultam na formação de populações segregantes (F2). As ações do melhorista devem ser embasadas em populações com médias elevadas dos caracteres de interesse e ainda revelar alta variabilidade genética. Dentre os métodos de seleção e condução das plantas no melhoramento genético da soja com hibridação, destacam-se a utilização da seleção massal, o método populacional, método genealógico e descendente de apenas uma semente "Single Seed Descent" (SSD). Todos os métodos são realizados a partir da segunda geração de descendentes "F2" (CARVALHO et al., 2016).

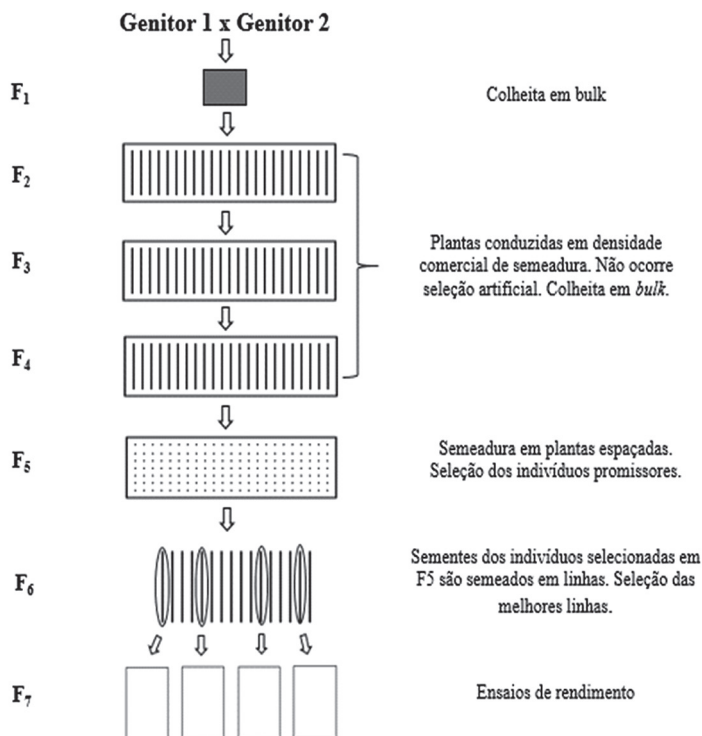
A seleção massal apresenta menor custo e necessidade de mão-de-obra revela grande contribuição da seleção natural através das condições do ambiente de cultivo. As populações são semeadas em densidade comercial de F2 a F4 e as melhores plantas são colhidas e misturadas na geração F5, onde a sementeira será espaçada. A seleção embasada no fenótipo dará origem à geração F6, em F7e confeccionam-se os ensaios de competição (CARVALHO et al., 2016).



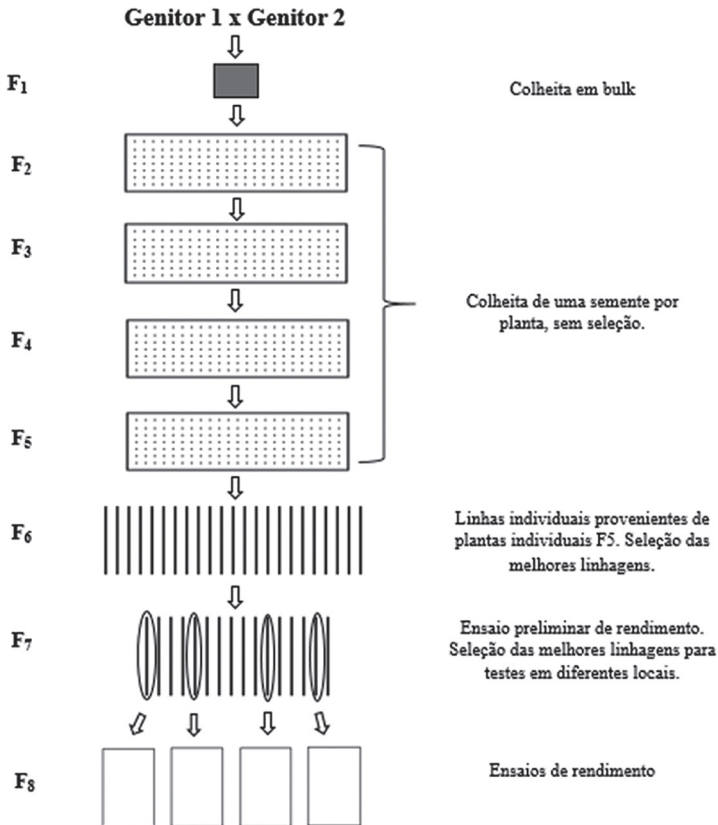
O método genealógico ou pedigree é embasado diretamente na avaliação das progênies, onde a população gerada é semeada de forma espaçada e avaliada individualmente em F2, onde indivíduos superiores serão selecionados e colhidos separadamente. Cada planta formará uma linha F3, em F4e a seleção é embasada não somente nos caracteres morfológicos, mas também nas características da progênie gerada, a seleção das melhores linhas é repetida até que a homozigose seja alcançada. Posteriormente, realiza-se os ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) com testemunhas comerciais, mas as plantas selecionadas devem ser semeadas na época e local em que o futuro genótipo será utilizado (CARVALHO et al., 2016). Segundo Allard (1971) este método é apropriado para características qualitativas determinadas por genes de grandes efeitos ao caráter.



O método populacional baseia-se na condução das populações F₂ nas mesmas condições nas quais o futuro genótipo será cultivado e estas devem ser colhidas em bulk. Uma amostra da geração anterior é semeada para compor as próximas gerações de F₃ a F₅. Na geração F₆, as plantas com fenótipos promissores são semeadas em linha e posteriormente as melhores linhas são colhidas em bulk e submetidas ao ensaio de valor de cultivo e uso (VCU) com testemunhas comerciais (CARVALHO et al., 2017).



O método Single Seed Descent (SSD) é realizado através da coleta de apenas uma semente de cada indivíduo F₂. Esta semente irá gerar o indivíduo das próximas gerações F₃ a F₅, sendo cultivados de forma espaçada. As melhores linhas serão selecionadas em F₆ e submetidas aos ensaios de rendimento com outras testemunhas. Este método proporciona o avanço de geração no mesmo ano em casa de vegetação e mantém a variabilidade da população original, sendo que em cada geração a homozigose é aumentada (CARVALHO et al., 2017).



TOMADA DE DECISÃO PARA AS ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO

As dificuldades enfrentadas na seleção de indivíduos superiores forçam o melhorista a adotar alternativas diferenciadas e eficientes. A seleção torna-se dificultada principalmente devido as ações decorrentes da interação genótipos x ambientes (G x A), pois quando o caráter de interesse é de difícil mensuração e não é viável aplicar a seleção direta, torna-se necessário determinar quais caracteres estão associados a expressão deste caráter. Desta maneira, emprega-se a seleção indireta através de caracteres secundários buscado maximizar os ganhos genéticos do caráter principal. Devido as oscila-

ções na resposta do genótipo frente aos diferentes ambientes de cultivo, definem que a seleção indireta deva ser muito bem planejada. Portanto, a seleção indireta pode ser baseada em um caráter de fácil mensuração, alta herdabilidade, e que esteja associado a um caráter de baixa herdabilidade e altamente influenciável pelo ambiente. Muitas são as dúvidas quanto à magnitude e o sentido das associações entre estes caracteres, pois a compreensão destas inter-relações proporciona nortear a estratégia de seleção adequada. Compreender as associações entre caracteres é fundamental ao melhorista, pois um caráter específico pode ser responsável pela expressão de outros. Em contrapartida, o maior sucesso é conferido ao programa de melhoramento genético quando se incrementa a probabilidade de reunir em um genótipo todas as características desejáveis, e que estes atendam às necessidades dos produtores nas mais variadas condições de cultivo. Com intuito de melhor compreender as associações entre os caracteres e direcionar a seleção, modelos biométricos podem ser aplicados ao melhoramento genético.

REGISTRO E PROTEÇÃO DE GENÓTIPOS

Os genótipos superiores selecionados devem ser lançados comercialmente após adequarem-se ao registro nacional de cultivares (RNC). Para isso, é necessária a execução dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), procedidos pelos obtentores, empresas terceirizadas ou instituições públicas, que visam obter informações agrônomicas detalhadas para o lançamento dos novos genótipos. Estes ensaios devem seguir os requisitos exigidos legalmente, apresentar dados estatísticos, mensuração e a análise dos diferentes caracteres, assim como a avaliação do desempenho dos genótipos frente a diferentes ambientes. Baseia-se na verificação da distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE) fenotípica, para que então o novo genótipo seja protegido junto ao Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MAPA), assegurando a seu titular o direito de reprodução comercial em todo território nacional.

Diversos são os benefícios proporcionados pelo cultivo do trigo de duplo propósito nos sistemas agropecuários, pois este remete em melhorias nas técnicas de manejo, bem como, fornece forragem de qualidade e quantidade adequada por área durante um período considerado crítico pela cadeia agropecuária. Entretanto, ainda existe grande carência no desenvolvimento e recomendação de genótipos para cultivo em regiões específicas, onde o melhoramento genético pode atuar fortemente e ser beneficiado pelo uso de ferramentas biométricas que permitirão potencializar os ganhos genéticos dos principais atributos de interesse agrônômico.

Referências

- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1971. 485 p.
- ASMUS G. L. Reação de genótipos de soja ao nematoide reniforme. **Tropical plant pathology**. v. 33, n. 1, p. 69 – 71, 2018.
- BORÉM A., MIRANDA G. V.; FRITSCH NETO R. **Melhoramento de plantas**. 7ª Ed. Viçosa. Editora UFV. 543 p. 2017.
- BUENO L. C. S.; MENDES A. N. G.; CARVALHO S. P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2ª Ed. Lavras. Editora UFLA. 319 p. 2006.
- CARVALHO, I. R.; NARDINO, M. ; SOUZA, V. Q. . **Melhoramento e Cultivo da Soja**. 1. ed. Porto Alegre: Cidadela, 2017. v. 100. 366p.
- CARVALHO, I. R.; SZARESKI, V. J. ; NARDINO, M. ; VILLELA, F. A. ; SOUZA, V. Q. . **Melhoramento e produção de sementes de culturas anuais - Soja, Milho, Trigo e Feijão**. 1. ed. Saarbrücken, Germany: Ommi Scriptum Publishing Group, 2018. v. 50. 229p.

- CARVALHO, I. R.; SOUZA, V. Q. ; NARDINO, M. ; MAIA, L. C. . **Resultados Experimentais da Soja**. 1. ed. Porto Alegre: Cidadela, 2016. v. 50. 192p
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **EMBRAPA SOJA**. Soja. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 12 abr. 2013.
- FARIA A. P. et al. Ganho genético na cultura da soja. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, 2015.
- PINTO, R. J. B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. 2ª Ed. Maringá. Editora EDUEM. 351 p. 2014.
- REIS, E. F.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 685 - 692, 2014.

3 – Ecologia, Fisiologia e Práticas Culturais

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA CULTURA DA SOJA E A PRODUTIVIDADE DA CULTURA

Marcos Paulo Ludwig^{1*}

¹ Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), R. Nelsi Ribas Fritsch, 1111 CEP: 98200-000, Esperança, Ibirubá - RS, Brasil. E-mail: marcosludwig1@gmail.com.br

Introdução

As características morfológicas podem ser distinguidas entre as plantas de forma visual. Variações destas características ou de alguma delas indicam alteração genética ou ambiental podem ter reflexos tanto na fisiologia como na produtividade final da cultura. As genéticas podem estar associadas ao melhoramento empregado na cultura e/ou devido à alteração das cultivares convencionais para as *Roundup Ready™* ou com outra alteração através da biotecnologia. Alterações ambientais têm relação com mudanças nas práticas culturais como mudança na população de plantas, espaçamento e época de semeadura.

A mensuração destas características permite avaliar a potencialidade do genótipo e inferir sobre seu desempenho em determinada condição de cultivo. Características morfológicas diferentemente dos componentes do rendimento e das características fisiológicas, não podem ser usadas para estimativa da produtividade potencial da cultura e não necessitam de levantamentos com aparelhos (Infrared Gas Analyser (IRGA) por exemplo). Estas características muitas vezes têm relação com a produtividade, porém não de forma direta, mas demonstram alterações na planta relacionadas à adaptação. O presente capítulo tem como objetivo abordar as modificações nas características morfológicas da cultura da soja, relaciona-

do com alterações de genótipos e manejo, e por fim correlacionar estes fatores com a produtividade da cultura.

Descrição das características morfológicas

As características morfológicas podem ser usadas para estudos de desempenho agrônômico da cultura da soja. Para uma correta avaliação cabe aos pesquisadores normatizar estas avaliações. A seguir serão descritas as principais características morfológicas da cultura da soja.

Estatura de plantas: distância entre o solo e a parte mais alta da planta quando a planta apresenta-se estendida.

Altura de plantas: distância entre o solo até a parte mais alta da planta sob condição de campo tem relação com acamamento das plantas.

Altura da inserção do primeiro legume: distância do solo até a inserção do legume mais próximo efeito na colheita mecanizada.

Altura da inserção do primeiro legume: distância do solo até a inserção do legume mais próximo efeito na colheita mecanizada.

Diâmetro da haste principal: com um paquímetro, mede-se a região compreendida entre a cicatriz do nó cotiledonar e do primeiro nó.

Número de ramos de primeira ordem: contagem direta na planta dos ramos inseridos na haste principal pode alterar a distribuição da produção na planta e representa o efeito de distribuição de plantas por área. Para ser considerado um ramo tem a estrutura vegetativa tem que ter no mínimo um nó.

Número de ramos de segunda ordem: contagem direta na planta dos ramos inseridos nos ramos de primeira ordem.

Número de nós na haste principal: contagem direta na planta do número de nós na haste principal tem relação com estatura das plantas e possíveis inserção de legumes e folhas na haste principal.

Nós nos ramos: contagem direta na planta do número de nós nos ramos tem efeito no comprimento dos ramos e possíveis inserção de legumes e folhas nos ramos.

Espessura do dossel: como um padrão de notas de 1 a 5 onde 1 é um dossel pouco espesso com quantidade de folhas menor e 5 um dossel espesso com grande quantidade de folhas. A quantidade de folhas nas plantas com função de interceptar a radiação solar.

Além destas relações estas características te relação com a penetração de luz e calda de agrotóxicos no dossel da planta, competição entre plantas e com plantas daninhas, ataque de doenças, abortamento de legumes e tamanho das sementes produzidas.

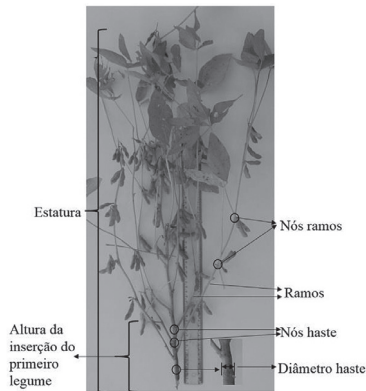


Figura 1. Características morfológicas da cultura da soja.

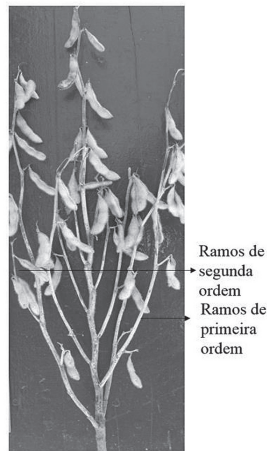


Figura 2. Ramos de primeira e segunda ordem.

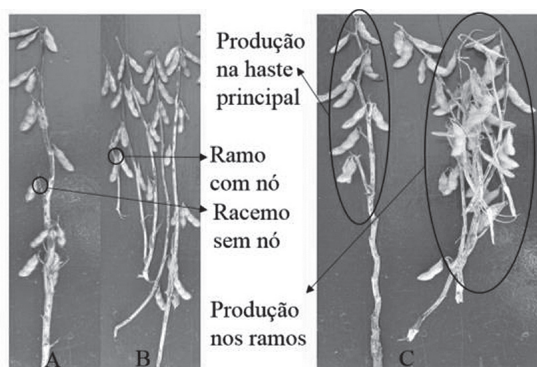


Figura 3. Racemo sem nó (A) e ramos com no mínimo um nó (B) e divisão da produção de uma planta de soja, na haste principal e nos ramos (C).

A cultura da soja apresenta plasticidade o que permite alterações na morfologia da planta permitindo que esta se adapte as condições ambientais, o que resulta em uma menor alteração da produtividade. No entanto, trabalhos recentes têm demonstrado que mesmo possuindo esta característica, a compensação dos parâmetros não permite uma produção da cultura da soja seja estável (Rigsby & Board, 2003; Heitholt et al., 2005) necessitando assim de estudos de adaptação das cultivares as condições de cultivo utilizadas atualmente.

Alteração alterações genéticas em cultivares de soja

Em relação à cultura da soja, surge a possibilidade de utilização de cultivares *Roundup Ready*TM (RR, que consiste em um material geneticamente modificado com característica de tolerância ao herbicida não seletivo glifosato (N-fosfometilglicina)), Cobb (1992). O glifosato é um herbicida sistêmico de ação total, que inibe a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintetase (EPSP sintetase ou EPSPS) e impede que a planta forme aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas e, também, de alguns metabólitos secundários. O gene que confere tolerância à enzima EPSPS, denominado CP4, é

proveniente da bactéria de solo do gênero *Agrobacterium*, introduzido na soja pelo método de biobalística (Kruse et al., 2000).

A soja lançada no mercado americano na década de 90, ganhou rapidamente espaço nos Estados Unidos e, posteriormente, na Argentina, os quais são os maiores produtores de soja geneticamente modificada em nível mundial (Abrahão, 2008). Posteriormente ocorreu a liberação do cultivo e comercialização da soja *Roundup Ready*TM no Brasil. Andriolli (2003) relata que com o surgimento das cultivares transgênicas muitos produtores passaram a importar cultivares da Argentina e de outros países, com pouco ou nenhum conhecimento relacionado ao manejo e tratos culturais, fazendo com que muitas das práticas empregadas sejam aquelas empregadas para as cultivares convencionais. Possivelmente o comportamento morfofisiológico das cultivares convencionais e *Roundup Ready*TM seja diferente, o que resulta em respostas morfológicas diferentes em resposta ao manejo.

Segundo Zabot (2009) atualmente no Brasil existem três grupos de cultivares distintos sob o ponto de vista de origem genética, adaptação às condições de cultivos, morfologia de planta e, principalmente, conhecimento científico em relação às mesmas. São eles os das cultivares convencionais, transgênicas introduzidas e transgênicas nacionais. O grupo das cultivares convencionais pode ser caracterizado pela ausência do gene de resistência ao herbicida glifosato, sendo que estas foram amplamente cultivadas até o final da década de 90 (como exemplos podemos citar BRS 133, CD 205 e Bragg). Após esse período, as cultivares transgênicas ganharam espaço e conseqüentemente, a utilização de materiais oriundos de outros países, como a tecnologia RR inserida fora do Brasil, a qual foi introduzida em nossos sistemas de cultivo (A 6001 RG, NK Mireya 4.2 RR e Relmo Anta 82 RR). Mais recentemente, cultivares geneticamente modificadas para tolerância ao glifosato começaram a ser desenvolvidas no país, caracterizando

o terceiro grupo, das transgênicas nacionais (Fundacep 55 RR, CD 219 RR e BRS 244 RR).

Com relação às cultivares convencionais, o conhecimento científico a respeito das práticas de manejo e comportamento das mesmas nos mais variados locais de semeadura é notoriamente conhecido. Estas cultivares possuem ampla adaptação e as práticas de manejo são conhecidas e, quando utilizadas, potencializam os rendimentos. De acordo com Rubin et al., (2008), as cultivares convencionais são seis por cento mais produtivas que as transgênicas, na comparação entre as cultivares utilizadas em ensaios para valor, cultivo e uso (VCU), no município de Julio de Castilhos, RS, Brasil. Da mesma forma, Pelaez et al., (2004), trabalhando com custos de produção e dados referentes as produções dos Estados Unidos, Argentina e Brasil, relatam que, mesmo com custos inferiores, a produtividade de soja é 12% inferior quando comparada às convencionais.

O histórico de cultivo de soja geneticamente modificada na Argentina é anterior ao brasileiro e as cultivares lá utilizadas possuem origem Americana, onde o desenvolvimento da soja *Roundup Ready*TM é datado em meados da década de 80, sendo que neste mesmo período, além da soja, outras plantas geneticamente modificadas foram desenvolvidas. De acordo com Norsworthy e Frederick (2002), no ano de 1996, 68% das lavouras de soja no Estados Unidos eram semeadas com cultivares transgênicas.

Aliada a adaptação dos genótipos, as práticas de manejo, em algum momento do ciclo, ou até mesmo antes da implantação das lavouras, podem fazer com que a comunidade de plantas de soja tenha o melhor aproveitamento dos recursos ambientais, minimizando possíveis perdas causadas por pouca adaptação ou instabilidade produtiva (Heiffig, 2002).

Práticas culturais e as características morfológicas

Práticas culturais são alterações no manejo da cultura como alteração no espaçamento, na densidade

de sementes, na adubação, na aplicação de agrotóxicos entre outras, visando a exploração do máximo potencial produtivo da cultura. Alterações nestas práticas resultam em mudanças nas estruturas das plantas que experimentam estas mudanças.

Ambiente

Alterações ambientais têm referência com a época de semeadura e excesso ou déficit hídrico. A época de semeadura tem relação com a temperatura e fotoperíodo que são fatores importantes para o desempenho da cultura. O excesso e déficit hídrico tem relação com as condições climáticas durante o ciclo da cultura.

Em se tratando destes fatores em uma lavoura de soja a temperatura e o fotoperíodo são fatores que não podem ser controlados pelos produtores. O déficit hídrico pode ser contornado pela irrigação. O excesso de água no ambiente resultando em alagamento do solo também é fator de difícil controle.

A temperatura e o fotoperíodo têm relação com a época de semeadura da cultura. A soja é uma espécie que tem resposta fotoperiódica para a indução ao florescimento, e, com base nisto as cultivares são classificadas em grupos de maturação (Gandolfi & Muller, 1981). Os zoneamentos agrícolas e a recomendação das épocas preferenciais para a semeadura da soja são feitos com base na temperatura, disponibilidade hídrica e fotoperíodo (Cunha et al., 2002).

A semeadura em época inadequada, além de afetar a produtividade pode causar alterações em características que estão relacionadas com a produção, tais como altura de plantas e de inserção do primeiro legume e número de nós da haste principal (Endres, 1996; Martins et al. 1999; Peixoto et al. 2001; Ludwig et al., 2010a). Estas reduções pode ter relação com outro efeito da semeadura realizada após o período recomendado, que é o encurtamento do ciclo da cultura (Ludwig et al., 2010a).

Esta redução segundo Endres (1996) ocorre no sub-período de emergência ao florescimento, já Martins et al. (1999) e Motta et al. (2002) verificaram que o atraso na sementeira causa redução no ciclo da soja principalmente na fase reprodutiva.

Diferenças entre genótipos convencionais e RR foram estudadas por Ludwig et al. (2010a) estes autores constataram que quando há atraso na sementeira as cultivares RR apresentam maior redução no ciclo que as cultivares convencionais. Em sementeira na época indicada os mesmos autores encontraram menor estatura de plantas e número de nós na haste principal nas cultivares RR. Características que podem estar relacionadas com alterações genéticas nas cultivares convencionais e RR.

Doss & Thurlow (1974) concluíram que de todos os fatores que influenciam no rendimento da soja como irrigação, população de plantas, espaçamento entre linhas e variedade, a irrigação e a variedade foram os fatores que mais contribuíram para o rendimento.

No caso da soja os dois períodos mais sensíveis à falta de água no solo são germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, porque envolvem diretamente a formação dos componentes do rendimento: número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso médio de grãos (Berlato, 1981; Cunha & Bergamaschi, 1992; Bonato, 2000; Casagrande et al., 2001; Embrapa, 2002).

Segundo Bonato (2000), secas severas na fase vegetativa, reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar e o rendimento de grãos. Enfatiza também, que o déficit hídrico determina plantas de pequena estatura, raquíticas, com folhas pequenas e entrenós curtos. Resultados obtidos por Petry (2000) confirmam que o déficit hídrico aplicado na fase vegetativa reduz o crescimento de plantas de soja devido à diminuição no número de nós e comprimento dos entre nós.

A irrigação da soja durante o período vegetativo tem influência direta sobre a estatura da planta e

altura de inserção do primeiro legume, além de outros efeitos sobre a arquitetura da planta. Portanto ela tende a ser mais vantajosa em condições que podem ser limitantes ao desenvolvimento das plantas, como é o caso de semeaduras tardias (Cunha & Bergamaschi, 1992). Kuss (2006) observou aumento no número de ramos por planta, número de nós dos ramos e número de nós por planta com irrigação durante todo ciclo da cultura da soja.

O alagamento do solo é considerado como um dos principais estresses em muitos ecossistemas de todo mundo (Serres & Voesenek, 2008), na cultura da soja este problema também é considerado como um dos principais (Shimamura et al., 2002). O alagamento assim com o déficit hídrico altera a morfologia das plantas, no intuito de ocorre à adaptação.

Mecanismos morfológicas de tolerância, como, o desenvolvimento de aerênquima e a formação de raízes adventícias na base da parte aérea é iniciada com o alagamento do solo (Vartapetian & Jackson, 1997; Thomas et al., 2005). O resulta na aumento do diâmetro da haste principal das plantas de soja (Ludwig, 2010). O alagamento do solo também resultou em redução da estatura de plantas (Cho & Yamakawa, 2006; Ludwig, 2010). Além de afetar a altura de planta o alagamento reduziu o número de nós na haste principal, o teor de clorofila das folhas e aumentou o ciclo da cultura da soja (Ludwig, 2010).

Densidade de semeadura e população de plantas

Densidade de semeadura é considerada a quantidade de sementes semeadas em determinada área hectare ou metro quadrado visando obter uma população de plantas, que é a quantidade efetiva de plantas em uma área. A população de plantas é um fator importante, pois afeta diretamente as características morfológicas da cultura da soja. Segundo Gaudêncio et al. (1990), a soja tolera uma ampla variação na população de plantas, alterando mais a sua morfologia que a produtividade de

grãos. Em condições normais, o aumento excessivo da população de plantas deve ser evitado, pois o adensamento pode implicar em maior competição radicular induzindo a redução do diâmetro da haste e à elevação na estatura das plantas, podendo implicar em acamamento. O aumento excessivo da população, além de favorecer o acamamento, pode criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de doenças, sem ter contribuições na produção (Fundação Cargill, 1986).

Para densidades muito baixas, pode ocorrer uma diminuição na estatura e, conseqüentemente, o ponto de inserção das primeiras vagens ficará próximo ao solo, podendo resultar em perdas na colheita (Ludwig et al., 2010 a). Há ainda o fato de que populações baixas resultam em plantas de porte baixo, que competem menos com plantas invasoras, pois levam mais tempo para fechar o solo, o que poderá acarretar em perdas na produtividade ou aumento do custo de produção pela maior necessidade de uso de herbicidas (Dutra et al. 2006). Zobot (2009) constatou que a nas maiores densidade de sementeira o fechamento do solo era mais rápido.

Trabalhando com características morfológicas em cultivares de soja convencionais e *Roundup Ready*TM em diferentes épocas e densidade de sementeira Ludwig et al. (2010a) constataram aumento na estatura das plantas com aumento da densidade de sementeira para ambos grupos de cultivares na sementeira dentro da época indicada, porém com o atraso da sementeira nenhuma das cultivares RR apresentou incremento na estatura com aumento da densidade de sementeira, já 50% das cultivares convencionais apresentaram incremento. Para altura de inserção do primeiro legume não ocorreu incremento na altura em nenhuma condição nas cultivares RR. No entanto na época indica de sementeira nas cultivares convencionais 66% delas apresentaram incremento na altura de inserção do primeiro legume com o aumento da densidade de sementeira, já na sementeira após a época indicada 50% das cultivares apresentaram incremento na inserção do primeiro legume.

Ludwig et al. (2010a) observaram pouca alteração no número de nós na haste principal nesta pesquisa. Com relação ao número de ramos por planta os autores constataram que 66% das cultivares convencionais reduziram o número de ramos com o aumento da densidade de semeadura, já na RR somente 25% em semeadura na época indicada. Após a época indicada as cultivares RR não alteraram o número de ramos com aumento da densidade de semeadura e nas convencionais somente 33% tiveram o número de ramos alterado com aumento de densidade de semeadura. trabalhando com população de plantas Seus et al. (2009) constataram que com o aumento da população de plantas, há uma diminuição linear da contribuição dos ramos na produtividade, pois ao se aumentar a população de plantas, ocorre redução do número de ramos por planta, no número de legumes, do número de sementes e do peso de sementes nos ramos. A população de plantas é fator determinante para o arranjo de plantas no ambiente de produção e, por consequência, influencia o crescimento e desenvolvimento da soja. Dessa forma, a melhor população de plantas deve possibilitar além do alto rendimento, estatura de plantas e altura de inserção do primeiro legume adequada à colheita mecanizada e plantas que não acamem (Gaudêncio et al., 1990).

Espaçamento entre linhas

O espaçamento entre linhas tem relação com a distribuição das plantas na área o que afeta diretamente a concorrência pelos fatores de produção. A melhor distribuição do arranjo de plantas na área tem resultado em acréscimo do rendimento de grãos e do potencial de rendimento da cultura (Thomas et al., 1998; Pires, et al.; 2000) e estão associados a vários fatores, como o melhor uso da água devido ao sombreamento mais rápido do solo pelo dossel vegetativo, melhor distribuição de raízes, redução da competição intraespecífica, maior habilidade na competição com plantas daninhas, exploração uniforme da fertilidade do solo, e maior e mais rápida interceptação da radiação solar (Rambo et al., 2004).

O espaçamento equidistante é o que proporciona a menor competição intraespecífica, assim como o melhor aproveitamento da radiação solar. Entretanto, o alto índice de mecanização da cultura, em todas as suas fases, impossibilita a adoção desse modelo de semeadura (Tourino et al., 2002). Segundo Rezende et al. (2004), a variação na densidade e no espaçamento proporciona uma maior ou menor penetração da luz no dossel das plantas. Uma melhor distribuição de luz poderia ser conseguida com um melhor arranjo das plantas, proporcionando às folhas inferiores maior iluminação, podendo assim, contribuir de forma mais ativa no processo de fotossíntese. Debortoli et al. (2006), ressaltam que a distribuição mais adequada de plantas na área proporciona maior retenção e eficiência foliar principalmente no dossel inferior devido à constante interceptação de radiação bem como penetração e cobertura do fungicida refletindo em incremento de produtividade.

Tourino et al. (2002), testando espaçamentos, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e nas características da soja, verificou que nas menores densidades as plantas são mais baixas, acamam menos, e apresentam maior porcentagem de sobrevivência. Verificou também que a redução da população de plantas e do espaçamento entre linhas, proporcionou melhor distribuição das plantas na área, permitindo, graças à alterações na sua arquitetura, o aumento da produtividade da soja. No entanto, se recomenda adensar a população de plantas em condições desfavoráveis do solo, como déficit hídrico e restrição de nutrientes, e em condições de competição com plantas invasoras, devido ao fechamento antecipado da entrelinha. Desta forma, é preciso identificar um arranjo de plantas que resulte em menor competição intraespecífica que permita um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para o crescimento e rendimento de grãos (Rambo et al., 2003). Trabalhando com cultivares de soja RR Zambot (2009) observou fechamento mais rápido do solo no espaçamento que proporcionava mais equidistância das plantas. Madalosso et al. (2010) constataram redução do

ataque de ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) com o aumento do espaçamento entre linha, resultado possivelmente esteja relacionado com o dossel da cultura, pois cobertura do solo mais rápida pelo menor espaçamento proporciona maior umidade no interior do dossel e dificulta a penetração de fungicida.

Correlações entre características morfológicas e a produtividade da cultura da soja

Alteração genética e no manejo demonstram efeito sobre as características morfológicas da cultura da soja. Estas mudanças afetam de maneira diferente a produtividade da cultura. Para determinar os efeitos destas alterações sobre a produtividade da cultura da soja foi realizada análise de correlação. A análise de correlação da Tabela 1 demonstra semelhança entre o grupo das cultivares convencionais e das *Roundup Ready*TM, ambas obtiveram correlação positiva com a produtividade para número de nós por metro quadrado, estatura e altura de inserção do primeiro legume. Isto significa que com o aumento do número destas variáveis ocorria concomitantemente o aumento da produtividade. Para as variáveis ramos por planta e número de nós na haste a correlação mostrou-se negativa. Ou seja, a redução do número de ramos por planta e do número de nós na haste culminou com o aumento da produtividade.

Quando trabalhando com os diferentes grupos de cultivares em densidades de semeadura, foi constatado que as cultivares convencionais respondem negativamente ao número de nós na haste nas densidades de 25 e 40 sementes por metro quadrado e positivamente para número de ramos por metro quadrado nas densidades de 40 e 55 sementes. Para a densidade de 55 sementes por metro quadrado também foi constatado correlação positiva para estatura e altura da inserção do primeiro legume. Para as cultivares *Roundup Ready*TM nas diferentes densidades de semeadura foi constatado correlação negativa para nós na haste somente na densidade de 25 sementes por metro quadrado. Positiva para nós por

metro quadrado e estatura nas densidades de 40 e 55 sementes por metro quadrado e na densidade de 55 sementes por metro quadrado para altura da inserção do primeiro legume. A análise das duas épocas semeadura, uma dentro da época indicada para a cultura da soja e outra com semeadura após a época indicada. Constatou-se que a com a semeadura dentro da época indicada correlações positivas para nós na haste, nós por metro quadrado, estatura e altura da inserção do primeiro legume. Após a época indicada constata-se correlação negativa para número de ramos por metro quadrado e positiva para nós por metro quadrado, estatura e altura da inserção do primeiro legume.

Tabela 1. Correlação entre características morfológica e produtividade de cultivares convencionais e *Roundup Ready*TM em três densidade e duas épocas de semeadura.

	Ramos planta	Ramos m ²	Nós na haste	Nós m ²	Estatura	Ins. Pri. Legume
Correlação cultivares convencionais						
Produtividade	-0,23*	-0,12	-0,35**	0,37**	0,21*	0,21*
Correlação cultivares RR						
Produtividade	-0,28*	0,10	-0,33**	0,57**	0,58**	0,29*
Correlação cultivares convencionais						
	Ramos Planta	Ramos m ²	Nós na haste	Nós m ²	Estatura	Ins. Pri. Legume
25 sementes. m ²						
Produtividade	-0,18	-0,15	-0,42*	-0,12	-0,06	-0,14
40 sementes. m ²						
Produtividade	-0,27	-0,04	-0,41*	0,37*	0,08	0,07
55 sementes. m ²						
Produtividade	-0,31	-0,08	-0,20	0,65**	0,54**	0,46**
Correlação cultivares RR						
	Ramos Planta	Ramos m ²	Nós haste	Nós m ²	Estatura	Ins. Pri. Legume
25 sementes. m ²						
Produtividade	-0,26	-0,28	-0,55**	-0,07	0,13	-0,19
40 sementes. m ²						
Produtividade	-0,28	0,14	-0,17	0,58**	0,74**	0,32
55 sementes. m ²						
Produtividade	-0,25	0,35	-0,28	0,89**	0,74**	0,53**
Correlação semeadura época indicada						
	Ramos planta	Ramos m ²	Nós na haste	Nós m ²	Estatura	Ins. Pri. Legume
Produtividade	-0,09	-0,05	0,38**	0,39**	0,49**	0,37**
Correlação semeadura após época indicada						
Produtividade	-0,39**	-0,22*	0,17	0,51**	0,44**	0,49**

Análise de correlação por Pearson. * Significativo a 0,05. ** Significativo a 0,01.

Apesar de semelhanças entre os grupos algumas diferenças de comportamento são observadas com a análise de correlação, principalmente nas cultivares convencionais quando a densidade de semeadura passa para 55 sementes por metro quadrado e nas RR quando usado 25 sementes por metro quadrado. Quando ocorre atraso na semeadura também ocorre alteração nas respostas da cultura principalmente nas variáveis ramos por planta, ramos por metro quadrado e nós na haste.

Características morfológicas de plantas submetidas a diferentes manejos de herbicida e fungicida foram correlacionadas com a produtividade da cultura da soja em cultivares *Roundup Ready*TM. Os manejos eram compostos por manejos de herbicida (Clethodim + Bentazon e outro com glifosato), dois manejos de doenças constituídos com a aplicação de fungicida (Tebuconazole + Tiofanato Metílico) e sem a aplicação.

Para os manejos de herbicida foi constatada semelhança na correlação para as variáveis, estatura de plantas, nós na haste e altura de inserção do primeiro legume. Todas obtiveram correlação negativa com o rendimento. Resultados semelhantes ao observados com e sem a aplicação de fungicida, com exceção da variável nós na haste que não apresentou correlação com a aplicação de fungicida.

Diferenças nas correlações entre os trabalhos também foram observadas no primeiro a estatura e a altura de inserção do primeiro legume, responderam positivamente, já no segundo negativamente.

Tabela 2. Correlação entre características morfológica de cultivares *Roundup Ready*TM sobre dois manejos de herbicida e fungicida.

	Estatura	Nos haste	Nós m ²	Ramos planta	Ramos m ²	Nós ramos	Nos ramos m ²	Ins pri legume
Herbicidas convencionais								
Produtividade	-0,54**	-0,44*	-0,14	-0,04	0,00	0,30	0,35	-0,74**
Glifosato								
Produtividade	-0,70**	-0,56**	0,10	-0,22	-0,06	-0,09	0,07	-0,71**
Com fungicida								
Produtividade	-0,45*	-0,28	-0,03	0,12	0,13	0,13	0,16	-0,67**
Sem fungicida								
Produtividade	-0,59**	-0,56**	0,03	-0,19	-0,06	0,18	0,32	-0,71**

Análise de correlação por Pearson. * Significativo a 0,05. ** Significativo a 0,01.

Considerações finais

Características morfológicas na cultura da soja são alteradas por fatores relacionadas à genética e o ambiente. Cabe aos pesquisadores explorarem estas características e usarem para identificação dos melhores manejos, respeitando as diferenças entre os genótipos e ambientes.

Novas tecnologias são desenvolvidas pelos cientistas, e podem ser utilizadas pelos produtores. Porém o comportamento das plantas em campo necessita de contínuo estudo e avaliação para utilização das tecnologias de forma continuada e obtendo alto retorno econômico e social.

A identificação de características que possam ser usados no melhoramento de plantas de soja também é importante para identificação de genótipos mais promissores. Facilitando o melhoramento e agilizando o processo.

Referências

- ABRAHÃO, O. S. **Rastreabilidade de soja Roundup Ready em produtos agrícolas e derivados: produtos de materiais de referência e uso de marcadores AFLP.** *Dissertação (Mestrado)* Universidade de São Paulo – Programa de pós-graduação em Biologia na Agricultura e Ambiente. 85 f. 2002.
- ANDRIOLLI, A. *Soja transgênica no Brasil: a polêmica continua.* **Revista espaço acadêmico**, v.3, n.25. 2003.
- BERLATO, M. A. Bioclimatologia da soja. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. 1062p. São Paulo, Brasil. 1981.
- BONATO, E. R. **Estresses em soja.** Embrapa Trigo. 254p. Passo Fundo, Brasil. 2000.
- CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P. K.; BRETON, M. C. & NEPOMUCENO, A. L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.168-184. 2001.
- CHO, J.; YAMAKAWA, T. Effects on Growth and Seed Yield of Small Seed Soybean Cultivars of Flooding Conditions in Paddy Field. **Journal of the Faculty of Agriculture**, v.51, n. 2, p. 189–193, 2006.
- COBB, A. **Herbicides and plant physiology.** Chapman and Hall, 176 p. London, Inglaterra, 1992.
- CUNHA, G. R.; MALUF, J. R. T.; HAAS, J. C.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M. **Mapeamento de riscos de deficiência hídrica para soja no Rio Grande do Sul.** Embrapa Trigo. Passo Fundo, Brasil, 2002.
- CUNHA, G.R. & BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** cap.6, p.85-97, Porto Alegre, Brasil, 1992.
- DEBORTOLI, M. P. Efeito do arranjo de plantas sobre o progresso de ferrugem asiática na soja. **Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia**, v.31, n.1, p.129-129, 2006.

- DOSS, B. D. & THURLOW, D. L. Irrigation, row width, and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. **Agronomy Journal**, v.66, n.5, p.620-623, 1974.
- DUTRA, L. M. C.; ZABOT, L.; LUDWIG, M. P. & JAUER, A. Cobertura do solo na cultura do feijoeiro comum. **In-forme técnico**, n. 25-2006, p.4, Santa Maria, Brasil, 2006.
- EMBRAPA, Exigências hídricas. In: **Tecnologias de produção de soja: Paraná - 2003**. Embrapa Soja. p.28-30. Londrina, Brasil, 2002.
- ENDRES, V. C. Espaçamento, densidade e época de semeadura: população de plantas. In: **Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Embrapa - Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste**. 157p. Dourados, Brasil, 1996.
- FUNDAÇÃO CARGILL. **A soja no Brasil Central**. 3.ed. Fundação Cargill, 444p. Campinas, Brasil, 1986.
- GANDOLFI, V. H. & MULLER, L. Fotoperiodismo. In: In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. cap.2.2, p.129-143. São Paulo, Brasil, 1981.
- GAUDÊNCIO, C.; GEZZIERO, D. L. P.; JESTER, F.; GERICIE, A. & WOBETCI, C. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Estado do Paraná. **Comunicado Técnico 47**. Embrapa Soja. p.1-4. Londrina, Brasil, 1990.
- HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 85 f. Piracicaba, Brasil, 2002.
- HEITHOLT J. J.; FARR, J. B. & EASON, R. Planting Configuration x Cultivar Effects on Soybean Production in Low-Yield Environments. **Crop Science**, v. 45, n.4, p.1800-1808, 2005.
- KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M. & VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, n.2, p.139-146, 2000.

- KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja.** *Dissertação (mestrado)* – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 81 f. Santa Maria, Brasil, 2006.
- LUDWIG, M. P. **Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de soja produzida em solo de várzea alagada.** *Tese (Doutorado)* - Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes.115f. Pelotas, Brasil, 2010.
- LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LISBOA, J. I. & UHRY, D. Correlações entre rendimento de grãos com características morfológicas e fisiológicas da soja In: 21ª JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 2006. **Anais da 21ª JAI**, Santa Maria, Brasil, 2006.
- LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, O. A.; ZABOT, L.; UHRY, D.; LISBOA, J. I. & JAUER,. A Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e *Roundup Ready™* em função da época e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v.40, p.759 – 767, 2010. (a)
- LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, O. A.; ZABOT, L.; UHRY, D. & LISBOA, J. I. Produtividade de grãos da soja em função do manejo de herbicidas e fungicidas. **Ciência Rural**, v.40, p.1516 – 1522, 2010. (b)
- MADALOSSO, M. G.; DOMINGUES, L. da S.; DEBORTOLI, M. P.; LENZ, G. & BALARDIN, R. S. Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, v.40, n.11, p.2256-2261, 2010.
- MARTINS, M. C.; CÂMARA, M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V. & MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.765-768, 1999.

- MOTTA, I. S.; BRACCINI, A. de L.; SCAPIM, C. A.; INOUE, M. H.; ÁVILA, M. R. & BRACCINI, M. do C. L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. I. Efeito nas características agronômicas. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1275-1280, 2002.
- NORSWORTHY, J. K. & FREDERICK, J. R. Reduced seeding rate for glyphosateresistant, drilled soybean on the Southeastern Coastal Plain. **Agronomy Journal**, v.94, n.6, p.1282-1288, 2002.
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A. & MATTIAZZI, P. Características agronômicas e rendimento de soja em diferentes épocas de semeadura e densidades de plantas. **Magistra**, v.13, n.2, 2001.
- PELAEZ, V.; ALBERGONI, L. & GUERRA, M. P. Soja transgênica versus soja convencional: uma análise comparativa de custos e benefícios. **Cadernos de Ciências e Tecnologia**, v.21, n.2, p.279-309, 2004.
- PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 71 f. Santa Maria, Brasil, 2000.**
- PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. & MAEHLER, A. R. Efeitos de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.8, p.1541-1547, 2000.
- RAMBO L.; COSTA J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G. & FERREIRA, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.33-40, 2004.
- REZENDE P. M. de; GRIS, C. F.; GOMES, L. L.; TOURINO, M. C. C. & BOTREL, E. P. Efeito da semeadura a lanço e da população de plantas no rendimento de grãos e outras características da soja [*Glycine max* (L.) Mer-

- rill]. **Ciências Agrotécnicas**, v.28, n.3, p.499-504, 2004.
- RIGSBY, B. & BOARD, J. E. Identification of Soybean Cultivars That Yield Well at Low Plant Populations. **Crop science**, v.43, n.1, p.234-239, 2003.
- RUBIN, S. A. L. Rendimento de grãos de 8 cultivares de soja RR de ciclos médio e tardio em 5 locais do RS, no ano 2007/2008. In. **Reunião de pesquisa de soja da região sul**, 36. Porto Alegre, Brasil, 2008.
- SERRES, B. J. & VOESENEK, L. A. C. J. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-39, 2008.
- SEUS, R.; VERNETTI JUNIOR, F. de J.; SCHUCH, L. O. B. & LUDWIG M. P. Contribuição dos Ramos nos Componentes do Rendimento de Soja Cultivada em Solo de Várzea. In. Vernetti Junior, F. de J. **Soja: resultados de pesquisa na Embrapa Clima Temperado – 2009**. Embrapa Clima Temperado, 2009. 78 p. Pelotas, Brasil, 2009.
- SHIMAMURA, S.; MOCHIZUKI, T.; NADA, Y. & FUKUYAMA, M. Secondary aerenchyma formation and its relation to nitrogen fixation in root nodules of soybean plants (*Glycine max*) grown under flooded conditions. **Plant Production Science**, v.5, p.294-300, 2002.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. & PIRES, J. L. Rendimento de grãos de soja afetado pelo espaçamento entre linhas e fertilidade do solo. **Ciência Rural**, v.28, n.4, p.543-546, 1998.
- THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M. C. & SODEK, L. Aerenchyma Formation and Recovery from Hypoxia of the Flooded Root System of Nodulated Soybean. **Annals of Botany**, v.96, p.1191-1198, 2005.
- TOURINO, M. C. C; REZENDE, P. M. & SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1071-1077, 2002.

VARTAPETIAN, B. & JACKSON, M. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals of Botany**, v.79, p.3–20, 1997.

ZABOT, L **Caracterização agrônômica de cultivares transgênicas de soja cultivadas no Rio Grande do Sul**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 280 f. Santa Maria, Brasil, 2009.

FENOLOGIA DA CULTURA DA SOJA: DA TEORIA À PRÁTICA

Thomas Newton Martin¹ e Rosana Taschetto Vey²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, martin.ufsm@gmail.com

² Eng. Agrônoma Doutoranda PPGA, Inocular Soluções Agrícolas, inocular.contato@gmail.com

Introdução

Fenologia é o ramo da ecologia/botânica que se dedica a estudar os fenômenos periódicos dos seres vivos, no presente caso, a cultura da soja e as suas relações com fatores ambientais (temperatura, luz, fotoperíodo etc). Fenologia é a forma contraída de "Fenomenologia", que é o ramo da Ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos e suas relações com o ambiente. A forma científica foi introduzida por Linneo, em que foi considerada a sua origem etimológica do grego "Phanesthai" que significa "aparecer" (Pascale & Damario, 2004). Mas como ciência começa a ganhar importância a partir da segunda metade do século XIX quando foi proposta pelo botânico Charles Morren (Andreis et al., 2015).

No que se refere ao crescimento e desenvolvimento das plantas, estuda as suas fases vegetativas (germinação, emergência, emissão de folhas e sistema radicular) e reprodutivas (florescimento, frutificação e maturação). A fenologia estuda as mudanças exteriores (morfológicas) e as transformações no ciclo da cultura. A partir do entendimento da fenologia relaciona-se aos manejos possíveis com a cultura da soja. Com base na observação morfológica das plantas possui-se parâmetros para a tomada de decisão, a respeito de práticas de manejo que auxiliem no processo de construção e proteção da produtividade da soja.

A fenologia da cultura da soja foi descrita por Walter Fehr da Iowa State University, e por Charles Caviness da University of Arkansas e disponível sob a seguinte citação: Fehr, Walter R. e Caviness, Charles E., "Stages of

soybean development" (1977). Diversos autores retrataram o crescimento e o desenvolvimento da cultura da soja. Contudo, a fenologia descrita por Fehr & Canivess (1977) ainda é a mais aceita mundialmente. Entretanto, com a evolução dos manejos associados a fenologia, faz-se necessário a constante complementação das práticas de manejo associados a fenologia da cultura da soja. Além disso, as cultivares de soja disponíveis no comércio de sementes, trazem uma diversidade de materiais genéticos que se adaptam a diferentes manejos, e desta forma, explora-se melhor a relação entre a fenologia e manejo da cultura em prol da produtividade.

A fenologia da cultura da soja é dividida em duas grandes fases, a fase vegetativa e a fase reprodutiva. Além disso, o crescimento dessa Fabácea é classificado em três tipos: determinado, indeterminado e semideterminado. Essa classificação é definida a partir do período de coincidência entre os estádios vegetativo e reprodutivo, dentre outras características que serão avaliadas posteriormente. Juntamente a esses elementos serão abordados os hábitos de crescimento da planta e suas relações com a conversão de energia para a produção de fitomassa seca e grãos.

Tipos de Crescimento

Existe uma diferenciação básica no que diz respeito aos tipos de crescimento, pois esse avalia o período de tempo em comum (sobreposição) entre os estádios vegetativo e reprodutivo. Isso torna-se importante do ponto de vista de manejo, pois tem-se diferentes graus de homogeneidade das lavouras, fazendo com que a tomada de decisão seja diferente dependendo da tecnologia empregada em cada lavoura.

As cultivares do tipo de crescimento **Determinado** (Figura 1a) são caracterizadas por possuir o período vegetativo e reprodutivo com pequeno período de tempo em comum. Ou seja, o período vegetativo com a emissão de folhas e novos ramos laterais, praticamente cessa com o florescimento. O florescimento é sincronizado

praticamente em toda a planta, assim como o desenvolvimento de vagens e grãos que ocorre de forma sincronizada. Nas cultivares com esse tipo de crescimento, a matéria seca é de 87 % a 90 % quando ocorre o florescimento. As folhas do terço superior da planta possuem o mesmo tamanho e formato das folhas da parte basal da planta. A planta apresenta um ráculo longo com muitas vagens no nó terminal. Em geral, esse tipo de crescimento não apresenta ou apresenta poucas ramificações laterais.

Deve-se perceber que a partição de carboidrato no momento do florescimento é alterada quase que na totalidade para a reprodução da planta. Somente parte do carboidrato oriundo da fotossíntese é destinado para a manutenção das estruturas vegetativas que foram formadas até então. As lavouras de soja do tipo de crescimento determinado geralmente são mais homogêneas, com maiores facilidades de determinação dos conteúdos nutricionais das plantas devido a pequena partição de carboidratos que é destinado para as folhas. Contudo, se a cultivar for induzida ao florescimento precocemente, ela não terá mais capacidade de compensar eventuais estresses. As cultivares com essas características são necessariamente exigentes na adequação da época de semeadura e em fertilidade do solo.

As cultivares com o tipo de crescimento **Indeterminado** (Figura 1b), apresentam na mesma planta crescimento vegetativo, florescimento, formação de vagens e grãos. No momento do florescimento, as cultivares do tipo indeterminadas atingiram apenas metade do seu crescimento, podendo dobrar a sua estatura e sua matéria seca por área. E principalmente haverá uma grande emissão de nós na haste principal. O florescimento ocorre de baixo para cima, assim como o desenvolvimento das vagens e dos grãos. Paralelamente ocorre a formação de ramos laterais que auxiliam na formação da produtividade.

As plantas desse tipo de crescimento possuem uma exigência em nutrição moderada e a determinação

do estágio da lavoura apresenta dificuldades devido à heterogeneidade das plantas. Contudo, são plantas mais capazes de mitigar os estresses ambientais pois após decorrido o estresse, a planta ainda tem a possibilidade de emitir ramos, flores e vagens e grãos, podendo assim compensar eventuais prejuízos. Com base nisso seria mais seguro usar cultivares do tipo de crescimento indeterminado em ambientes sem irrigação. Em ambientes com irrigação, o tipo de crescimento não é o fator mais determinante para escolha da cultivar. As cultivares semi-determinadas ou semi-indeterminadas, possuem características intermediárias dos tipos de crescimento apresentados.

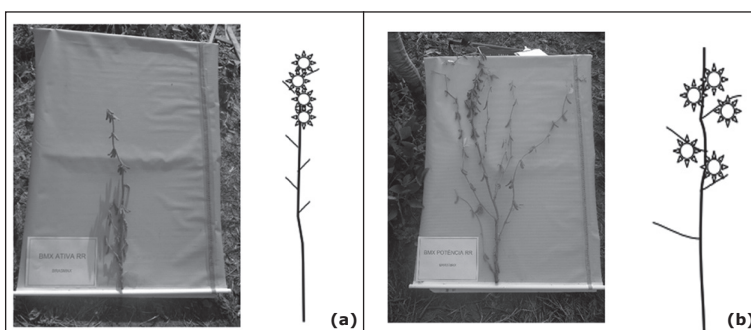


Figura 1. Planta de tipo de crescimento determinado (a) BMX Ativa e de tipo de crescimento indeterminado (b) BMX Potência.

Metodologia de identificação do estágio da planta de soja

Cada grupo de pesquisadores e/ou cada pessoa deve possuir uma metodologia clara para identificar o estágio fenológico da cultura da soja. Essa tarefa é razoavelmente fácil para determinar o estágio de uma planta. Já para determinar o estágio de uma lavoura, deve-se considerar uma média representativa de plantas em que o estágio que tiver em uma frequência superior a 50% da população é o estágio da lavoura. Deve-se sempre avaliar o nó da haste principal, pois este é permanente, já as folhas possuem um tempo limitado de vida.

No que diz respeito a avaliação individual de uma planta ou plântula, deve-se iniciar avaliando a última folha, seja uni ou trifoliolada, em que os bordos dos folíolos não se tocam. Se isso estiver acontecendo, significa que a folha imediatamente inferior a ela já ultrapassou 50% do seu tamanho e da sua capacidade fotossintética. Não sendo mais dreno e sim fonte de carboidratos. O surgimento dos trifólios é sequencial, contudo logo que o trifólio surge, a relação fonte e dreno é no sentido de ser mais dreno do que ser fonte. Enquanto os bordos dos folíolos estão se tocando (podendo ser apenas um) a folha é considerada dreno. Então, o trifólio assim caracterizado, com ao menos um folíolo tocando-se **não habilita** (Figura 2a) a contagem do nó imediatamente inferior. O trifólio com as bordas se tocando (ou em um dos folíolos), está em processo de formação do tecido foliar gerando mais gasto energético em relação a sua produção.

Quando os bordos dos folíolos do trifólio não estão mais se tocando, a folha passa a ser fonte, porém não significa que ela atingiu 50% da sua área foliar. Porém, esse trifólio **habilita** (Figura 2a) a contagem do nó (ou trifólio) imediatamente abaixo dela até o nó da folha unifoliolada. O trifólio inferior ao aberto já atingiu pelo menos 50% da área foliar devendo-se ser contado para determinar o estágio fenológico. O nó cotiledonar não é contado pois tem origem no eixo embrionário da semente. A avaliação é sempre feita na última folha da haste principal.



Figura 2. Identificação do trifólio com os bordos dos folíolos se tocando (a) e com os bordos dos folíolos não se tocando (b).

Abertura dos Folíolos

A verificação da abertura dos folíolos do trifólio (Figura 3), algumas vezes geram dúvidas, dessa forma, com essa sequência de fotos pretende-se minimizar as dúvidas e caracterizar as plantas.

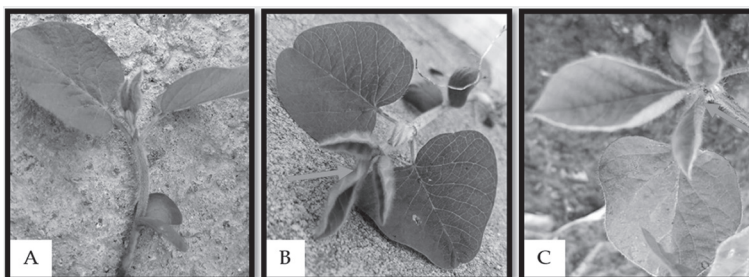


Figura 3. Sequência de abertura dos folíolos, em que inicialmente os bordos dos folíolos tocam-se completamente e posteriormente existe a expansão foliar.

Na sequência de fotos (Figura 3A) percebe-se claramente que os folíolos do trifólio se tocam os bordos, de todos os folíolos, então esse deve ser desconsiderado para a avaliação. Como a folha unifoliolada está completamente aberta ela habilita a contagem do estágio anterior, nesse caso, o estágio cotiledonar. Percebe-se na

Figura 3B e C, que a base do folíolo ainda está se tocando (seta vermelha), portanto deve-se descartar essas folhas na avaliação e passar a avaliar a imediatamente inferior.

A identificação do estágio fenológico de uma planta segue os princípios anteriormente relacionados. A identificação correta do estágio de uma lavoura, auxilia no processo de tomada de decisão para a realização dos manejos adequados de uma cultura. Além disso, ao avaliar-se duas lavouras, pode ocorrer que o número de dias da semeadura até um determinado estágio, seja diferente entre as áreas, muitas vezes isso ocorre devido a fatores genéticos ou de temperatura. Porém, fisiologicamente os processos de crescimento e principalmente os de desenvolvimento entre ambas as lavouras sejam muito semelhantes. Dessa forma, para ter uma maior acurácia na avaliação, deve-se avaliar no mínimo 50 plantas dentro de um mesmo ambiente homogêneo. Como exemplo, em 50 plantas avaliadas, 28 estão no estágio V5, 12 plantas estão no estágio V4 e 10 plantas estão o estágio V6. Então, verifica-se que mais de 50% das plantas (56%) estão em V5, fazendo com que seja definido que a lavoura se encontre no estágio V5.

Germinação e Emergência (VE)

As sementes de soja são divididas em diferentes partes internas e externamente (Figura 4a e b). A germinação inicia-se com o processo de embebição (cada semente necessita absorver pelo menos 50% da sua massa em água), desdobramento das macromoléculas em micromoléculas, produção de energia e por fim (resumidamente) emissão da radícula. A entrada de água ocorre na parte embrionária e cotiledonar (Figura 4c).

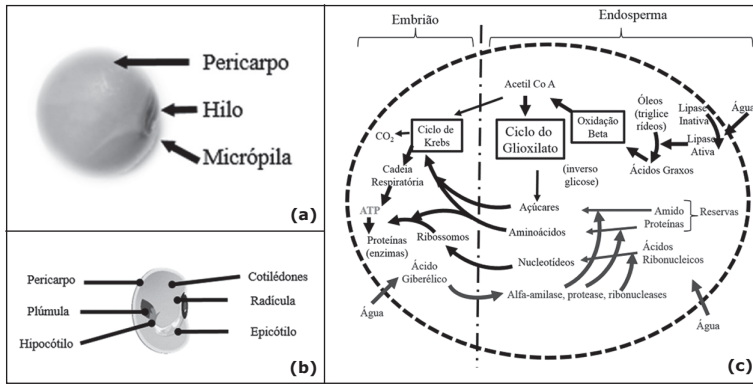


Figura 4. Semente de soja com as partes externas (a), internas (b) e processo fisiológico da germinação (c) - Modificado de Peske et al. (2019).

Inicialmente, isso ocorre fisicamente pela diferença de potencial entre o solo e as sementes (Fase I), na sequência ocorre a ativação da fase enzimática (Fase II) que é irreversível e por fim a divisão celular, crescimento, alongamento e protusão da raiz primária (Fase III) (Figura 5a).

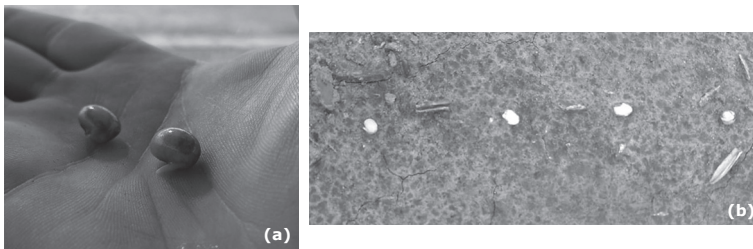


Figura 5. Semente de soja com o rompimento do tegumento e protusão da raiz primária (a) e sementes de soja que ficaram sem cobertura de solo (b).

Posteriormente, observa-se o crescimento do hipocótilo e a formação “alça do hipocótilo”, o qual irá romper a camada do solo e colocar os cotilédones sobre o solo. Com isso, verifica-se a fase denominada de Emergência (VE), em que os cotilédones estão acima da

superfície do solo. Considera-se a alça do hipocótilo um caule jovem em formato de gancho (alça) (Figura 6). A duração dessa fase depende da umidade, absorção de água, compactação do solo e sobretudo da temperatura do solo e do ar. A germinação irá ocorrer a partir do acúmulo de 80 graus dia (Alambert et al., 2019). Contudo, em geral esse estágio (VE) tem a duração de 3 a 10 dias e um consumo de 0,8 mm de água por dia. Posteriormente o hipocótilo curvo se torna ereto, colocando e desdobrando os cotilédones acima da sua antiga posição, paralisando o seu crescimento, permitindo assim que os cotilédones tenham a sua expansão. Com isso caracteriza-se a germinação epígea em que na sequência ocorra a exposição da plúmula a radiação solar. Somente após o desdobramento da alça do hipocótilo nos cotilédones, pode-se realizar a avaliação do processo de semeadura. É uma fase de intensa formação de pelos radiculares para que ocorra a absorção de água e nutrientes.

O índice de velocidade de emergência somente pode ser estimado após a alça do hipocótilo estar visível. Como a área de pressão entre a alça do hipocótilo e o solo sobre os cotilédones é menor, o rompimento do solo exige menos energia pela planta, facilitando o processo de emergência. No momento da semeadura, o não cobrimento da semente com o solo (Figura 6b) e a não compactação do solo pela roda compactadora, deixarão as sementes expostas, não permitindo que haja o estabelecimento da plântula.

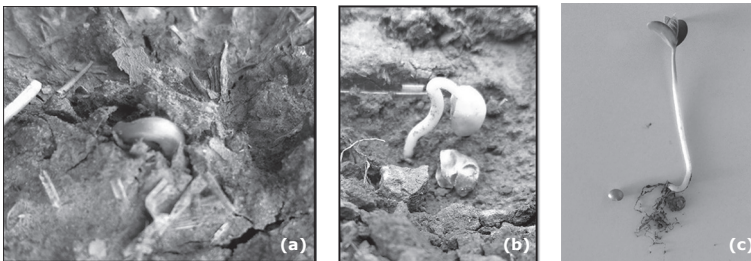


Figura 6. Alça do hipocótilo da planta de soja em emergência (a e b), plântula de soja emergida (c).

Fotos a e b: Thomas Martin, c: Guilherme Arismendi

Inicialmente os cotilédones possuem a coloração amarelada (Figura 6b), sendo uma estrutura de reserva, contudo após a luz solar incidir sobre eles, existe a formação de pigmentos fotossensíveis capazes de realizar fotossíntese (mesmo que em uma quantidade diminuta) o que auxiliará a plântula a tornar-se autotrófica e não mais dependente das suas reservas. As reservas dos cotilédones podem auxiliar no desenvolvimento das plantas por duas a três semanas (Câmara, 2006) e posteriormente os cotilédones assumem a coloração verde (Figura 6c).

Algumas vezes na emergência os tegumentos ficam retidos nos cotilédones (Figura 7a). Esse fato por vezes não é encarado como favorável. Pois sobre o tegumento são depositados os tratamentos de sementes (fungicidas e inseticidas), inoculantes e micronutrientes, dentre outros, e o processo de tratamento de semente pode fazer com que esse tegumento não solubilize na solução do solo (Figura 7c). Com isso, o efeito protetor do tratamento de sementes (fungicida e inseticida) acaba sendo parcial ou nulo, assim como a simbiose com microrganismos e outros. Além disso, essa retenção do tegumento pode reduzir o desenvolvimento/estabelecimento do dossel de plantas (Figura 7b). Até o final do estágio VE, os cotilédones perdem aproximadamente 70% da sua massa seca (Neumaier et al., 2000).

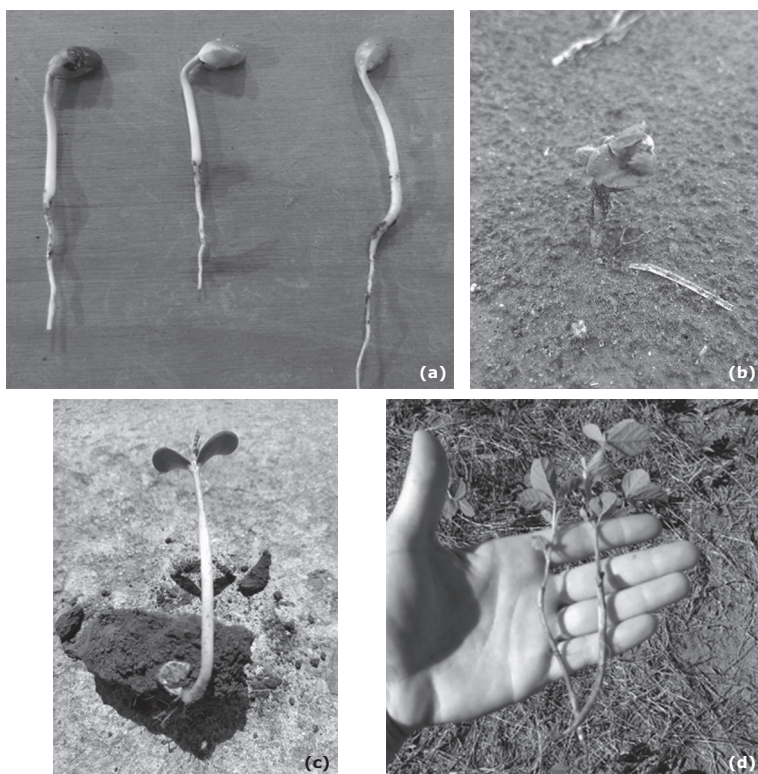


Figura 7 – Primeira plântula com tegumento preso em cultivo em casa de vegetação (a) e plântula emergida com tegumento preso (b), plântula de soja com o tegumento retido no solo (c) e plântulas de soja com atraso na emergência devido à profundidade de semeadura maior que 10 cm (d).

Fotos: Thomas Martin (a e b), Guilherme Arismendi (c), Pedro Aléssio (d).

Para pesquisas direcionadas na área da genômica e transcrição de genes, pode-se dividir a germinação/emergência em sete estádios como os apresentados por Hamimuzzaman & Lila Vodkin (2013). Estes autores dividem a germinação e a emergência em sete diferentes estádios com base no tempo, tamanho das radículas, hipocótilos, raízes e aparência dos cotilédones na germinação, sendo eles (Figura 8):

Estádio 1: Embebição das sementes por 24 horas e hipocótilos pré-emergentes.

Estádio 2: Cotilédones amarelos e radícula emergente com 8–10 mm de comprimento.

Estádio 3: Cotilédones amarelos com ligeiramente bordas verdes e hipocótilos de 15–20 mm de comprimento.

Estádio 4: Cotilédones verde-amarelos e hipocótilo com 30–35 mm de comprimento.

Estádio 5: Cotilédones verde-amarelos acima do solo e raízes primárias começando a se desenvolver.

Estádio 6: Maior parte dos cotilédones verdes acima do solo e o crescimento a partir do hipocótilo.

Estádio 7: Cotilédones totalmente verdes, as plantas com 6–7 cm de comprimento acima do solo, além disso, o sistema radicular totalmente desenvolvido, os cotilédones estão na posição vertical e as folhas unifolioladas estão expostas.

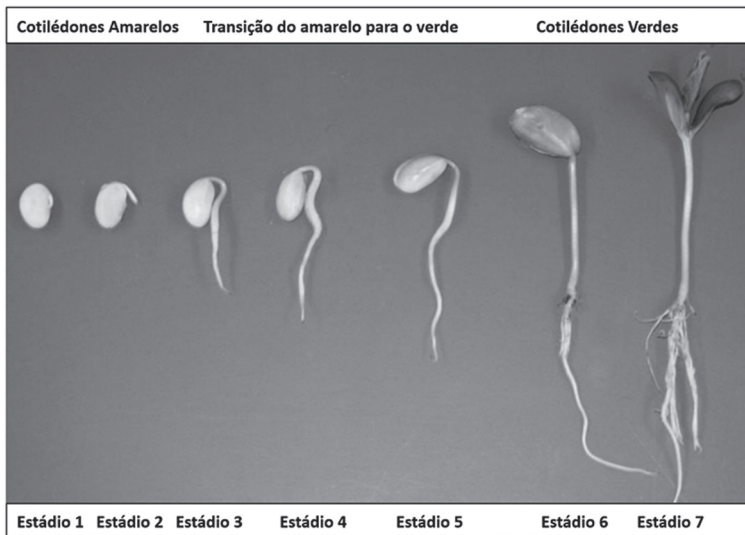


Figura 8 – Sete diferentes estádios de desenvolvimento de plântulas de soja. Modificado de Hamimuzzaman & Lila Vodkin (2013).

Estádio Cotiledonar (VC)

O estágio cotiledonar ocorre quando uma plântula se encontra com os cotilédones acima do solo, formando um ângulo de 90° com o hipocótilo (Figura 9).

Neste estágio, visualiza-se o par de folhas unifolioladas e estas estão completamente abertas. O epicótilo que contém a plúmula continuará o seu desenvolvimento dando origem a um par de folhas opostas (folhas primárias ou unifolioladas). Então com a abertura das folhas unifolioladas, habilita-se a contagem do estágio anterior que é o estágio cotiledonar. Esse estágio possui a duração de 3 a 10 dias, dependendo da temperatura e da disponibilidade de água no solo. Nesse período ocorre uma intensa mobilização das reservas que estão nos cotilédones para formar as folhas unifolioladas. As folhas unifolioladas não estão com sua atividade fisiológica máxima, porém, os cotilédones estão.

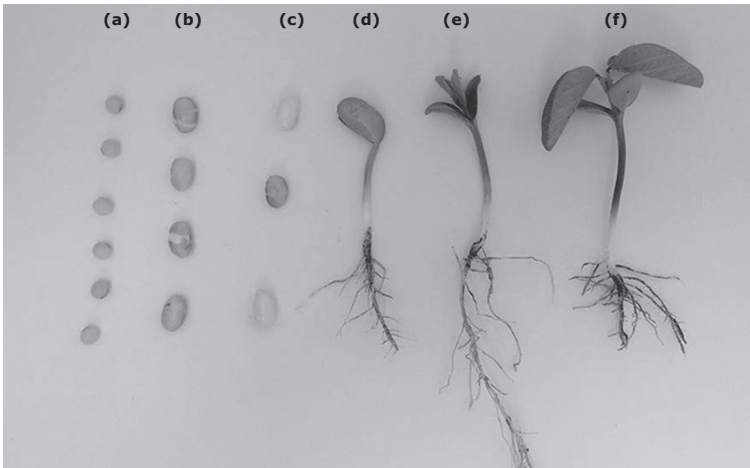


Figura 9. Semente a 13% de umidade (a), rompimento do tegumento em 8 horas de absorção de água (b), estágio II da germinação com intensa atividade fisiológica (c), plântula emergida (d), aparecimento da plúmula (e) e estágio cotiledonar com as folhas unifolioladas completamente desenvolvidas (f).

A perda de um ou dois cotilédones (Figura 10) causa redução significativa na produtividade de grãos, podendo esta, chegar a 10% (Barbosa et al., 2017). Entende-se que por ser órgãos de reserva a perda de um ou ambos os cotilédones, cause prejuízos econômicos. Mas, para que esses prejuízos sejam dessas

magnitudes eles devem ocorrer em todas as plantas. Esse momento de estabelecimento da lavoura é bem crítico, pois, geralmente neste período que antecede a implantação da soja, realiza-se a dessecação da área, eliminando fontes de alimentos para os insetos que migram para alimentar-se das plântulas de soja. Deve-se estar atento aos danos causados pelas pragas por meio de monitoramentos periódicos. Outro evento que ocorre frequentemente, é o tombamento fisiológico em plântulas de soja. Após a emergência, devido a elevada temperatura do solo, principalmente em solos sem cobertura, o hipocótilo fica exposto a elevadas temperaturas que acabam degenerando os tecidos que são tenros (compostos essencialmente por água) (Figura 10c e Figura 10d). Muitos pássaros como as pombas e as emas (Figura 10e-f) aproveitam-se das plântulas de soja para sua alimentação, mesmo que esse não seja um alimento preferido ou tradicional da espécie. Também deve-se considerar que os danos às lavouras, raramente são significativos ao ponto que plantas laterais não consigam compensar. Muitos agricultores estão registrando o aumento expressivo dessas aves nas lavouras, e isso, certamente é relacionado a coexistência entre as aves, soja e produtor rural.



Figura 10 – Plântula de soja emergida sendo atacada pela *Helicoverpa armigera* (a) Fonte: Portal Mais Soja, perda dos dois cotilédones (b), tombamento fisiológico (c) - (d) Foto: Aricia Correa, autópsia de uma pomba com partes dos cotilédones e sementes de capim sudão no papo da ave (e) e três emas convivendo na lavoura da soja (f) Fotos: Gustavo Hernandes.

As lesmas e caramujos também causam danos no estabelecimento das lavouras de soja. Na Figura 11, registrada por Jonielson Bastos em Maracaju (MS) percebe-se o registro de mais de 10 caracois m^{-2} , o que mo-

tivou a aplicação de isca (Metaldeído) que teve um bom resultado em algumas áreas, porém em outras teve-se que realizar a ressemeadura.

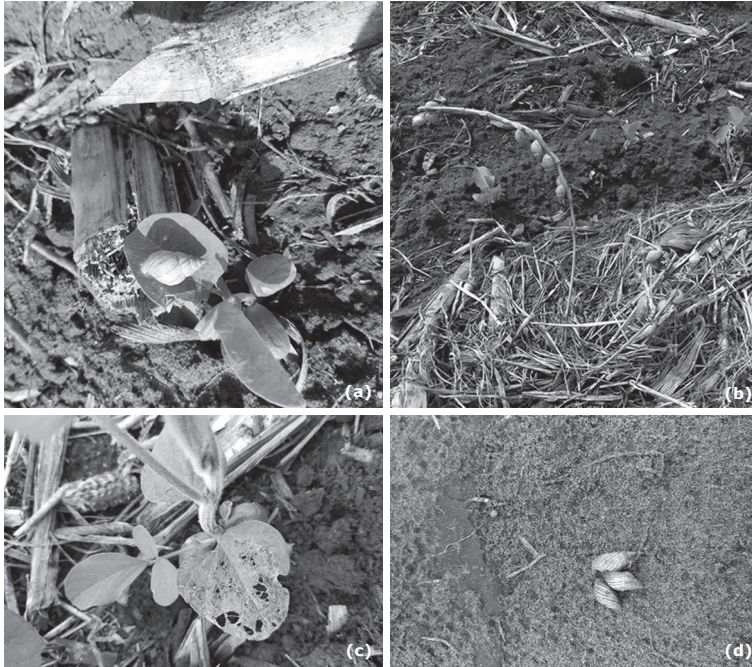


Figura 11. Plântula de soja emergida sendo atacada por caramujos (a), densidade de caramujos maior que 10 unidades m^{-2} (b), dano na folha causado por caramujo (c) e distribuição de iscas de Metaldeído (d). Fotos: Jonielson Bastos.

Estádio Vegetativo V1

No estágio V1, o primeiro trifólio está com os folíolos abertos, ou seja, suas bordas não se tocam (Figura 14b). Com isso, entende-se que esse trifólio ainda não chegou a 50% da sua área foliar e nem 50% da sua capacidade fotossintética. Porém, esse trifólio habilita a contagem do nó anterior onde está o par de folhas unifolioladas. Nesse estágio, a área foliar fotossinteticamente ativa é capaz de sustentar a planta. As folhas unifolioladas não possuem origem da semente (ou eixo

embrionário). A partir do estágio V1, os cotilédones não são mais considerados para as avaliações dos estádios fenológicos. No que diz respeito a relação fonte e dreno, esse primeiro trifólio é considerado ainda dreno e a unifoliolada fonte de carboidratos.

Uma característica interessante é que as folhas unifolioladas são opostas e esse é considerado apenas um nó para efeito de contagem. Todas as folhas trifolioladas são alternadas possuindo um nó cada folha. A simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e a associação com o *Azospirillum* estão ocorrendo de forma intensa. Algumas vezes já é possível visualizar nódulos (1 a 2) de até 1 mm de diâmetro como apresentados por Green e Emerich (1999) (Figura 12). Danos por temperaturas elevadas são verificados em cotilédones de soja cultivadas em áreas de terras baixas, sem ou com pouca cobertura do solo (Figura 12g). Além disso, a refletividade da radiação no solo descoberto também causa um efeito negativo no tempo de vida das folhas cotiledonares. Esse efeito deletério sobre os cotilédones acabou estimulando a quebra da dominância apical e verifica-se o surgimento de ramos laterais (Figura 12g).

O surgimento de ramos laterais da gema axilar do cotilédone (Figura 12f) está ligado a duas hipóteses, a primeira refere-se que as sementes são extremamente vigorosas que condicionam ao surgimento de ramos laterais. A segunda talvez seja a mais aceita, devido a planta estar sendo submetida a algum estresse, e com isso, existe a tentativa de ampliação dos ramos laterais e produzir mais flores para perpetuar a espécie. Sendo assim, a planta sinaliza por meio do etileno e desencadeia a produção de ramos laterais quando a condição está estressante (falta de água e/ou temperatura elevada). Se houver regularização de condições mais adequadas para o desenvolvimento, pode-se haver aumento de produtividade pelo aumento de ramos laterais, mas isso não é regra.

O tempo de duração das folhas unifolioladas é de quatro a seis semanas, dependendo da densidade de semeadura, estado nutricional e demanda evaporativa da planta. Geralmente as folhas unifolioladas acabam senescendo próximo ao florescimento.

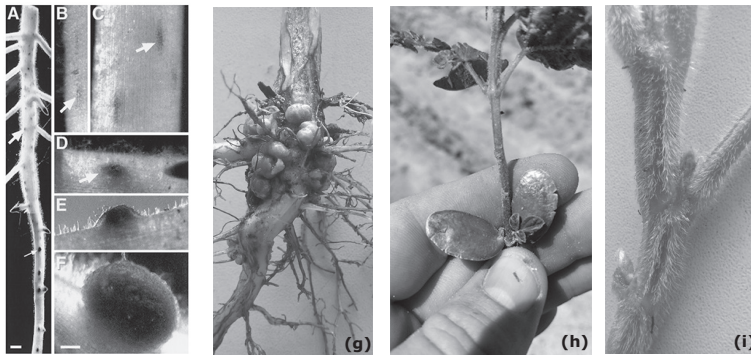


Figura 12. Raiz principal de soja com infecção (a), aos dois dias (b), aos três dias (c), aos quatro dias (d), aos seis dias (e) e aos oito dias após a infecção (f), a barra da figura "a" representa 1 mm e das figuras "b" a "f" representam 200 μ m Fonte Green & Emerich (1999). Nodulação na coroa da raiz principal (g), danos causados pelas elevadas temperaturas em cotilédones de soja (h) e gema axilar (i). Fotos: Thomas Martin (g, h, i).

Ao realizar-se uma inoculação "bem-feita", seguindo todos os preceitos para aumentar a sobrevivência e interação bactéria e raízes de soja, verifica-se uma nodulação precoce (Figura 13) e vigorosa na coroa da raiz principal.

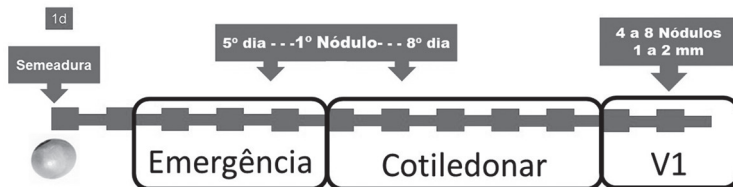


Figura 13 – Formação dos primeiros nódulos nos estádios iniciais de crescimento da cultura da soja.

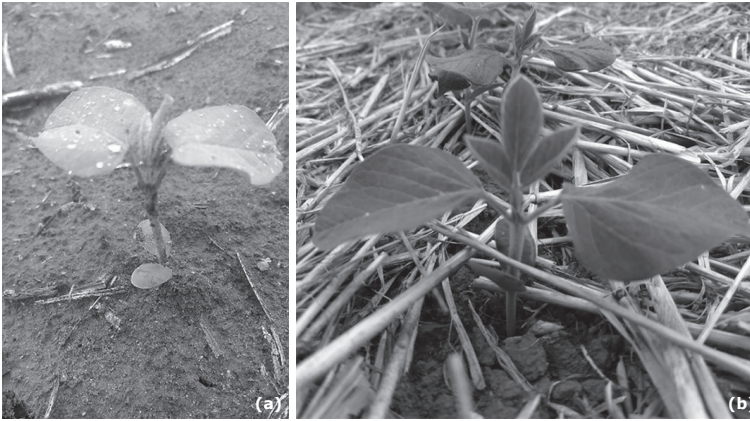


Figura 14. Plântula de soja com início da formação do primeiro trifólio (VC) (a) e plântula de soja com o trifólio onde as bordas dos folíolos não se tocam (V1)(b).

Em geral, o nódulo passa a estar “maduro”, ou seja, na máxima capacidade de fixação de nitrogênio com 28 dias após a infecção, o tamanho máximo do nódulo será alcançado entre 28 e 37 dias, e a degeneração dos nódulos ocorrerá a partir de 50 a 60 dias após a infecção.

A partir desse estágio um novo nó surgirá a cada 3 a 5 dias até V5 e após V5 a cada 2 a 3 dias até o final do estágio vegetativo (Ciampitti, 2017).

Estádio V2

No estágio V2, descreve-se a planta com o segundo trifólio aberto (sem os bordos do folíolo se tocando), o primeiro trifólio aberto e as folhas unifolioladas. Nesse estágio, os cotilédones já não possuem mais reserva (ou estão se exaurindo as reservas para manutenção da planta). As plantas nesse estágio possuem estatura variando entre 15 a 20 cm. Paralelamente a isto, a simbiose com o *Bradyrhizobium* começa a ser efetiva fixando nitrogênio para a planta. A partir desse estágio o aumento da fixação biológica de nitrogênio é exponencial, verificando-se o máximo em R5. Isso é verificado pela

coloração rosácea dos nódulos, identificando a plena atividade da leghemoglobina. Outras colorações como verdes, marrons ou brancos indicam que a fixação biológica não está sendo realizada. Os nódulos concentrados na região da coroa, indicam que o processo de inoculação foi bem-feita e esses nódulos provêm da inoculação. Já os nódulos das raízes secundárias, provêm de bactérias que estão sobrevivendo no solo, em geral com menos eficiência. No caso de manejos que realizam a coinoculação, a associação com as bactérias do gênero *Azospirillum* já começam a produzir hormônios, principalmente auxinas e citocininas que estimulam o crescimento radicular, principalmente das raízes secundárias.

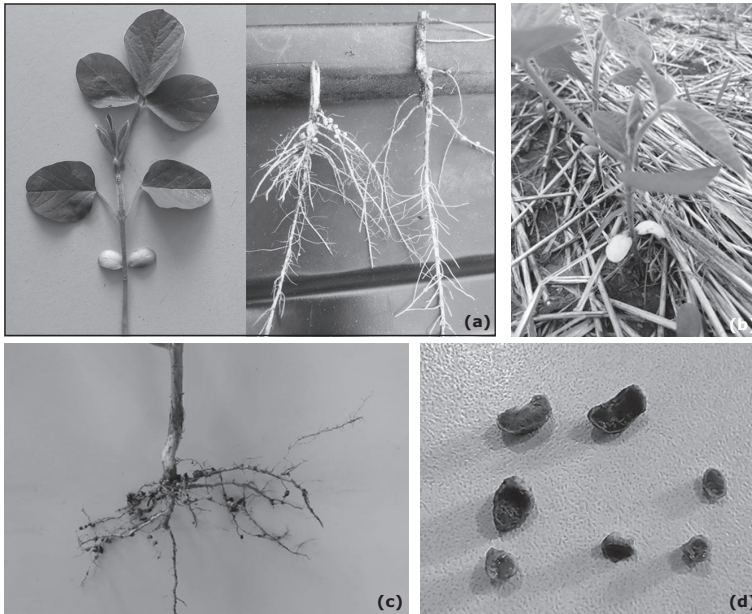


Figura 15. Planta de soja em V2, contendo o segundo trifólio completamente expandido, habilitando a contagem do nó do primeiro trifólio e nó do par de folhas unifolioladas (a), plantas de soja apresentando os cotilédones senescentes (amarelados) (b), sistema radicular contendo os nódulos na coroa (c) e coloração rosácea dos nódulos ativos (d).
Fotos: Thomas Martin (a e b), Guilherme Arismendi (c e d)

A partir do estágio V2 a planta de soja inicia um intenso acúmulo de matéria seca, dessa forma se faz necessário e oportuno a realização de adubações foliares, principalmente do cobalto e do molibdênio, bem como, complementações da aplicação de potássio em cobertura e de herbicidas em pós emergência.

Estádio V3

O estágio V3 é caracterizado quando o último trifólio com os folíolos expandidos (não se tocam as bordas), tendo duas folhas trifolioladas na haste principal abaixo e, o par de folhas unifolioladas. A partir desse estágio somente plantas muito vigorosas, em áreas férteis com boa condição de umidade possuem cotilédones verdes e ativos. Esse estágio é caracterizado, em geral por alguns cuidados fitossanitários como a dessecação das plantas daninhas. Além disso, poderia ser realizado uma aplicação de cobalto e molibdênio foliar, para auxiliar no processo de nodulação da soja. Bem como a aplicação de potássio em cobertura, no caso da dose total de potássio recomendada for superior a 70 kg ha^{-1} a ser aplicada no sulco, esta deve ser aplicada em cobertura, evitando-se assim a salinidade próximo a semente.

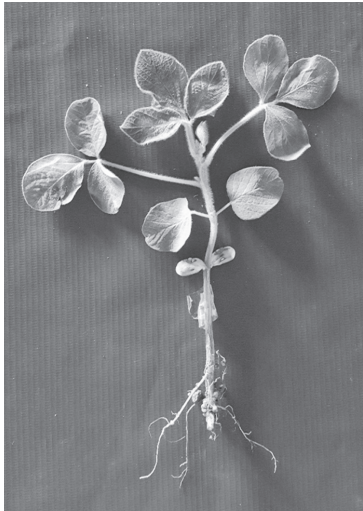


Figura 16. Plantas de soja no estágio V3.

A gema apical geralmente exerce dominância em relação as gemas axilares da planta. Caso ocorram perdas de folhas cotiledonares, unifolioladas e/ou trifolioladas, quebra-se a dormência da gema apical e há o crescimento das gemas laterais formando novas hastes (Figura 17a). Ressalta-se que o primeiro conjunto de nós é o cotiledonar, se houver corte abaixo dessa posição a planta morrerá (Figura 17b). Esse problema pode ocorrer por diversos motivos, inclusive por ataque de pom-bas que se alimentam da planta recém emergida.



Figura 17. Planta de soja com quebra da dominância apical e gemas laterais emitindo hastes (a) e planta sem capacidade de recuperação pois o dano ocorreu antes do nó cotiledonar (b) Foto: Rosana Vey, 2020 (b).

A partir do estágio vegetativo V4

O estágio vegetativo V4 é marcado pela última folha trifoliolada aberta, habilitando a contagem dos três trifoliolados e um nó unifoliolado para a contagem. O estágio V4 é marcado por intenso desenvolvimento, anterior a esse estágio a planta alocava cerca de 50% dos carboidratos produzidos para a formação de raízes e os

outros 50% para formação da parte aérea (Figura 18). Esta contagem é feita dessa forma até que se inicie o estágio reprodutivo a partir da sensibilidade ao fotoperíodo. Em plantas com tipo de crescimento determinado o crescimento vegetativo praticamente cessa enquanto que as plantas de crescimentos indeterminado ainda estão em 50% do crescimento vegetativo.

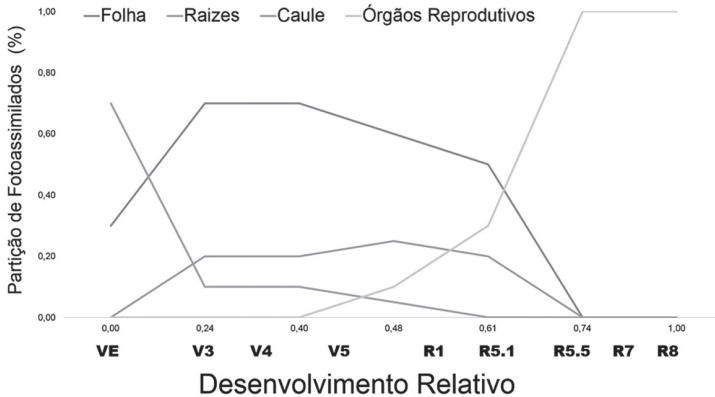


Figura 18. Partição de fotoassimilados (%), segundo o desenvolvimento relativo e estádios (Fehr e Caviness, 1977), para os diferentes órgãos da planta de soja. Modificado de Driessen & Konijn (1992).

O crescimento radicular entre VC até V5 varia de 12,5 mm a 19,08 mm d^{-1} (Kasper et al., 1976).

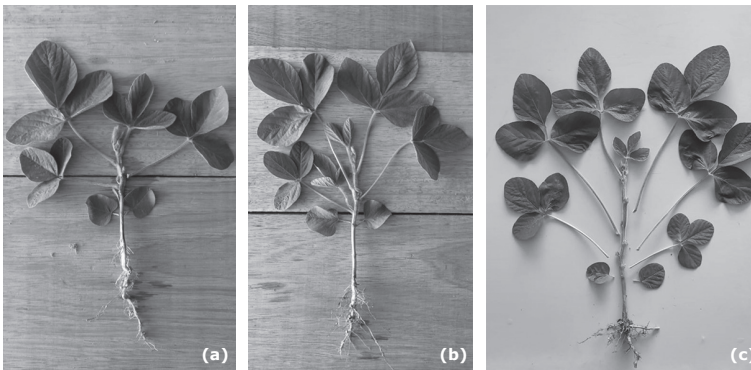


Figura 19 – Planta de soja em V4 (a), V5 (b) e V7 (c).
Fotos: Thomas Martin

A tomada de decisão a respeito da ressemeadura da soja é pertinente e possui um elevado custo agregado. Em Minnessota o atraso na ação de ressemeadura ou na sementeira em 56 dias causa uma redução de produtividade de 43,2% (Hardman & Gunsolus, 1991).

Estádio Reprodutivo (R)

A soja é uma planta autógama, ou seja, com a capacidade de autofecundação, não necessitando de outras plantas para a polinização. Possui uma grande diversidade de coloração das flores (brancas, púrpuras ou roxas), com o tamanho variável (3 a 8 mm de diâmetro). São flores completas, possuindo cálice, corola, gineceu e androceu (Figura 20). Os órgãos masculinos e femininos são protegidos pela corola.

Como características, os estames que são os órgãos reprodutivos apresentam uma antera e um filete. Apresentam os estames unidos pelos filetes (diadelfos). As gemas axilares produzem os ráceros com um número variável de flores (de 1 a 35). Os 10 estames (partes masculinas) estão situados perto do pistilo (estrutura feminina), de modo que os grãos de pólen produzidos nas anteras (parte do estame) são depositados diretamente no estigma (parte do pistilo) (Figura 20a).

Entre 1 a 3% das flores ocorre a fecundação cruzada, mediada por insetos, principalmente as abelhas. A fecundação cruzada é importante pois garante a diversidade genética. Contudo, a utilização de sementes "salvas" de maneira sucessiva pode ser um problema pois não se tem 100% da característica genética passada para a próxima geração. As duas pétalas de quilha envolvem as partes sexuais, tornando quase impossível para o vento ou insetos levar o pólen para a flor (Figura 20b).

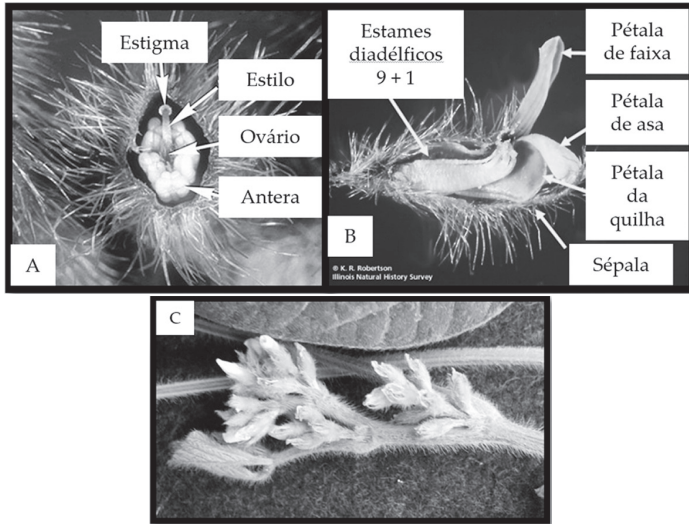


Figura 20. Estrutura interna da flor de soja (a) (modificado de Universidade de Missouri) e modificado de Digital Flowers (2019) (b), rácemo floral da soja com o conjunto de flores ligadas Modificado de Bulletin Illinois (2019) (c).

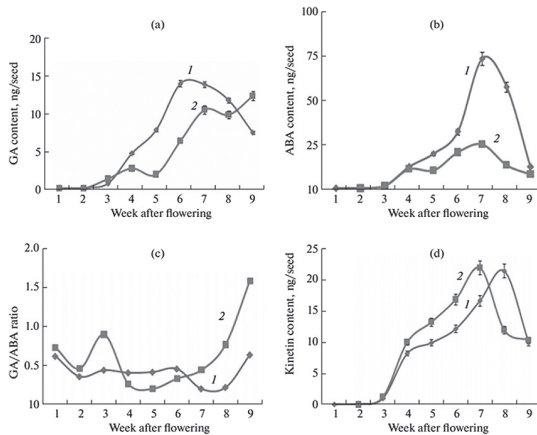


Figura 21. Acúmulo hormonal na formação das sementes de soja. Alterações nos níveis de ácido giberélico (GA) (a), ácido abscísico (ABA) (b), razão GA/ABA (c) e cinetina (d) em S (1) e L (2) variedades de soja em relação à idade da semente em semanas. Cada ponto de dados representa a média de seis réplicas (duas com padrão interno) e as barras verticais representam \pm SD ou dentro dos símbolos (MONPARA et al., 2019).

Estádio reprodutivo – Florescimento (R1)

O estágio reprodutivo caracteriza-se pelo aparecimento de uma flor aberta em qualquer nó da haste principal. A coloração das flores varia conforme a cultivar podendo variar de roxa, rosa ou branca. O florescimento é determinado a partir do momento em que a soja que é uma planta de dia curto, ou seja, recebe estímulos fotoperiódicos que estimulam o florescimento. Plantas do tipo de crescimento indeterminado, iniciam o florescimento no terço médio ou inferior, com o florescimento em direção a parte apical. Já plantas de tipo de crescimento determinada iniciam o florescimento em um dos quatro nós apicais e posteriormente o florescimento prossegue para ambas as direções. Nesse sentido, existem profundas mudanças na relação fonte e dreno. Isso ocorre de forma mais acentuada em plantas de soja com o tipo de crescimento determinado, em que o período de transição entre a fase vegetativa e a reprodutiva é mais curta. O florescimento dentro de cada ráncemo sempre ocorre da base para o ápice (Figura 22a), com isso a vagem terá essa progressão na sua formação. Além disso, a probabilidade de abortamento da vagem é superior para as vagens mais distantes do pecíolo (Figura 22b). Em média a taxa de abortamento floral é de 50%, contudo pode chegar a 75% (Câmara,1998). O período do florescimento pode durar de duas a quatro semanas.

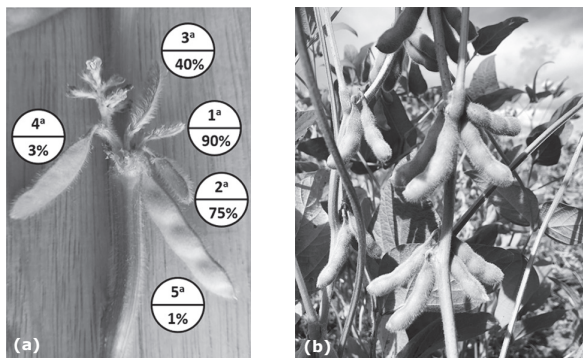


Figura 22. Ráncemo floral da soja (a) e sequência da formação das vagens e sua respectiva probabilidade de abortamento (b). Fotos: (a) Thomas Martin e (b) Rosana Vey.

Geralmente, ainda existe o domínio da haste principal em relação aos ramos secundários. As raízes secundárias possuem um crescimento intenso até o estágio R4 – R5. O tempo decorrido desde o início deste estágio até o final é de zero a sete dias, com média de três. Autores como Alembert et al. (2019) consideram que o período entre a antese e a maturidade possui um acúmulo de 888 °C, em médias para as cultivares utilizadas no Brasil.

O crescimento radicular é intenso principalmente na vertical, e com pelos radiculares em plena atividade, contudo as raízes mais profundas começam a perder a eficiência.

Nesse estágio, as reduções foliares representam pequenas reduções em produtividade. Porém, no início da floração é necessário um monitoramento intenso das áreas, identificando possíveis danos causados pela incidência de pragas e doenças, indicando o controle destas, se necessário.

Estádio reprodutivo – Florescimento (R2)

Esse estágio é caracterizado por aparecimento de ao menos duas flores abertas nos últimos nós do caule principal. Até este estágio a planta de soja acumulou pelo menos 25% da matéria seca total e sua estatura é aproximadamente 50% da sua estatura final, e possui cerca de 50% dos nós (tipo de crescimento indeterminado). Os acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio passam a ser cada vez mais rápidos e atingirão um máximo em R5. O aparecimento de novas flores começa a ser reduzido (soja de tipo de crescimento determinado), reduzindo-se até R3. A fixação biológica é intensa e crescente nesse estágio. A redução da área foliar em 50% nesse estágio, irá reduzir a produtividade em 6% (Endres e Kandel, 2015).

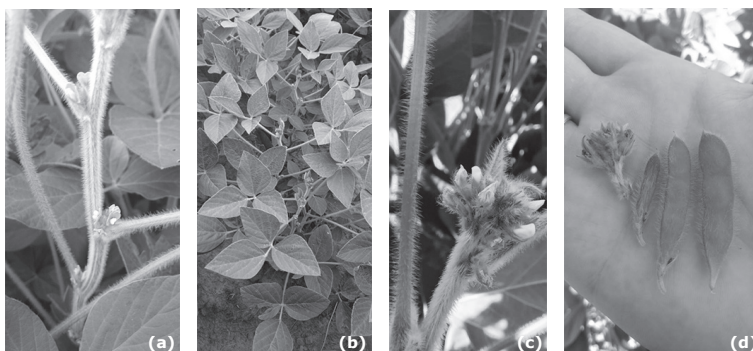


Figura 23 – Planta de soja no estágio R2 (a) e (b), ráceros floral com flores em diferentes estádios (não fecundadas e fecundadas) e diferentes estádios de formação no rácermo (d)

Fotos: Rafaella Mário (a e b), Thomas Martin (c) e Pedro Aléssio (d)

Estádio reprodutivo – Formação das vagens (R3)

Nesse estágio, há a formação de pelo menos uma vagem entre 5 a 15 mm nos 4 nós superiores. O número de vagens por planta é um dos, se não o principal componente de produtividade da planta de soja. Nesse sentido, estresses térmicos e hídrico afetam sensivelmente a capacidade da planta em nutrir e dar desenvolvimento às vagens. As compensações podem ocorrer, porém a massa de grão que é o próximo componente de produtividade a ser formado, somente realiza uma compensação parcial. A capacidade compensatória diminui à medida que a planta avança nos estádios fenológicos (R1 para R5.5). Em geral, 60 a 70% das flores são abortadas, e a função do manejo é reduzir esse abortamento, pelo fornecimento de condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas. Considera-se que metade da perda das flores ocorre antes do início da formação das vagens e a outra metade após esse momento. A soja possui um longo período de florescimento, e isso faz com que a capacidade compensatória seja maior. No entanto, cultivares de ciclo mais curto, podem ter problemas para realizar a compensação pois o período é mais restrito. A demanda energética para a formação de flores é menor

que a aquela para formar vagens, com isso, os estresses motivadores do abortamento são imediatamente percebidos pela planta, a qual irá restringir imediatamente o desenvolvimento das vagens a partir das flores. Em geral, esse estágio possui a duração de 5 a 15 dias (média de 9 dias) em cultivares de tipo determinadas. No estágio R3 pode-se encontrar em um mesmo rácemo flores não fecundadas, fecundadas e vagens em diferentes estádios.

A partição de carboidratos passar a ser direcionada para a formação das vagens, então o ponto de inflexão da sigmoideal de acúmulo de matéria seca começa a crescer rapidamente, ocorrendo a transferência via floema do carboidrato acumulado em folhas e hastes para a formação dos órgãos reprodutivos. Esse processo será cada vez mais rápido até a formação completa das sementes. Como consequência disso, está o acúmulo de matéria seca e minerais nos grãos (Bender et al., 2015). Uma nomenclatura usual utilizada pelos agricultores brasileiros para este estágio é o de “canivete”.

Estádio reprodutivo – Formação completa das vagens (R4)

Nesse estágio existe um rápido crescimento da vagem e a matéria seca é acumulada rapidamente. O estágio R4 é considerado enquanto a vagem tiver mais de 2 cm até o início da formação da semente (aproximadamente 4 cm). No Brasil, em geral, esse estágio recebe a nomenclatura de “canivete”. A maior parte das vagens encontra-se com essa conformação morfológica, principalmente no terço superior da planta. Esse estágio é crucial para a produção da semente/grãos, pois os estresses enfrentados entre R4 até R6 repercutem no abortamento da vagem ou até mesmo de grãos. Nesse estágio existe a confirmação do número de vagens e do número de grãos por vagem. Neste momento (R4) do ciclo da cultura, é considerado crítico para a realização de práticas como a irrigação, sob o risco de perdas de produtividade caso a planta de soja seja submetida a estresses.

Considera-se que o estágio possui uma variação na sua duração de 4 a 26 dias (com média de 9 dias). Esse estágio finaliza-se ao verificar-se a fertilização das oosferas, em que posteriormente ocorre divisões e diferenciações das células para a formação da semente. Autores como Ciampitti (2017) indicam que até o estágio R4, a planta absorveu 50% do nitrogênio e que de R5 a R7 existe a absorção do restante.



Figura 24 - Sequência da formação das vagens.
Fotos: Thomas Martin

Estádio reprodutivo – Formação das sementes/grãos (R5)

O estágio R5, ou formação das sementes/grãos é um momento decisivo para confirmação dos componentes de produtividade. É nesse estágio que existe a transferência dos carboidratos das folhas e hastes para a formação da semente. As sementes possuem pelo menos 3 mm de comprimento em um dos últimos quatro nós da haste principal. Como estratégia evolutiva da planta, praticamente não existe mais crescimento de folhas, hastes (principal e secundárias) e raízes, e a planta tende a restringir-se a consumo básico de carboidrato pela respiração e todos os esforços são destinados para a autofecundação, formação do eixo embrionário e formação

dos cotilédones. É um estágio bastante crítico do ponto de vista da movimentação de soluções via floema. Algumas doenças como a ferrugem asiática que possuem a formação de hifas no mesófilo foliar, tende a “drenar” esses carboidratos para a sua própria sobrevivência, formando então os corpos de frutificação e os esporos para serem dispersados. O estágio R5 originalmente descrito por Feher e Canivess (1977), não possui subdivisões, mas devido a importância do estágio, autores como Ritchie et al. (1977) o dividiram em cinco sub-estágios (Figura 25): R5.1 - grãos perceptíveis ao tato (o equivalente a 10% da granação); R5.2 - granação de 11% a 25%; R5.3 - granação de 26% a 50%; R5.4 - granação de 51% a 75%; R5.5 - granação de 76% a 100%. Se ocorrer desfolha de 100% devido a granizo nesse momento (R5.1 a R5.5), a redução da produtividade pode chegar a 75%. Nesse período a planta é muito fortemente impactada pelos estresses ambientais. Dependendo do grau do estresse atribuído sobre as plantas, pode-se verificar redução no número de vagens, número de grãos ou até mesmo na massa dos grãos. A necessidade de água diária de plantas de soja varia de 6 a 8 mm por dia, em que o solo deve estar úmido para que ocorra a absorção de nutrientes, transferências dos carboidratos e a fixação de nitrogênio. Nesse estágio, a taxa (g/planta/dia) de acúmulo de matéria seca nas sementes/grãos e a duração, em dias, são os determinantes da produtividade final da cultura (Neumaier et al., 2000). O tempo de duração do estágio é variável conforme o ambiente, mas existem diversos relatos na literatura indicando um período entre 10 e 30 dias, com média de 15 dias. A fixação de nitrogênio atinge o seu máximo e a partir desse momento, a eficiência dos nódulos começa a ser reduzida drasticamente. Durante esse período, os nódulos naturalmente passam da coloração interna de avermelhada para verde ou até marrom. Isso ocorre, devido a senescência natural ou por fatores estressantes como a deficiência hídrica ou estresses por temperatura.

O número de nódulos, a massa seca da planta e o índice de área foliar atingiram o seu máximo. E a partir desse estágio ocorre uma rápida redução desses índices fitotécnicos. O acúmulo de matéria seca nas sementes vai até meados de R6.

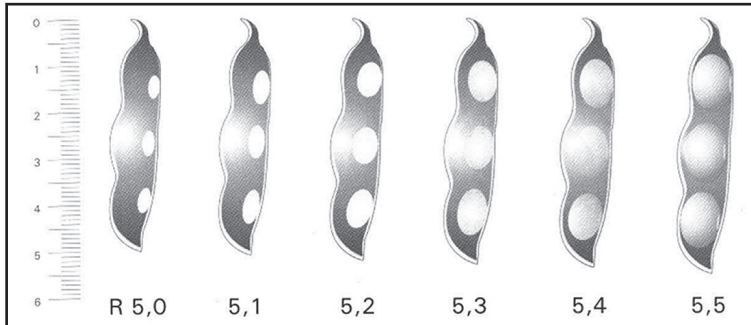


Figura 25. Subdivisões do estágio R5 (Adaptado de Ritchie et al., 1977).

A definição correta desse estágio em cada vagem, planta ou lavoura, auxilia o produtor na tomada de decisão referente a última aplicação de fungicida/inseticida. Uma exata definição do estágio de aplicação de um produto, deve levar em consideração o potencial produtivo da lavoura. Nesse caso, a proteção da planta/lavoura deve compensar os custos do produto somados ao da aplicação. Além disso, deve-se considerar o residual dos produtos e a capacidade de proteção. Se a tomada de decisão for precoce, ter-se-á um período ao final do estágio em que as plantas não estarão protegidas. Se a aplicação for tardia, os agrotóxicos podem ter um período de proteção sem utilidade pois, a planta já pode não estar mais translocando carboidratos para a formação da semente.

Estádio reprodutivo – Grão cheio (R6)

O estágio R6 é assim definido, quando vagens com ao menos um grão verde e que preenche toda a sua cavidade em um dos quatro últimos nós da haste principal com folha totalmente desenvolvida.

Neste estágio, a planta e as raízes já definiram seu crescimento, e a maioria dos nutrientes necessários já foram absorvidos tanto pela planta como pelas vagens, sendo que o acúmulo de massa de grãos/semente é também definida neste estágio. O acúmulo máximo de nutrientes na planta vai até o final de R6, sendo que após essa fase, esse acúmulo começa a diminuir, já nos grãos, o dreno de nutrientes e acúmulo de massa, se dá até o final do estágio R7. Em R6, inicia o processo de senescência das folhas inferiores da haste, sendo que esse processo continua de forma rápida até o estágio R8, onde todas as folhas caem.

Durante esse estágio (R6), deve-se realizar o monitoramento de pragas e doenças, sendo que danos causados por estas podem reduzir a produtividade. A incidência de doenças no final do ciclo pode reduzir severamente o rendimento da cultura.



Figura 26. Vagens de soja nos diversos estádios de desenvolvimento, estágio R6 representado na seta vermelha. Foto: Thomas Martin

Estádio reprodutivo – Maturação fisiológica (R7)

Esse estágio é caracterizado quando pelo menos uma vagem apresenta a coloração de vagem madura (marrom), podendo ser em qualquer nó da haste principal. Após o final de R6, onde os grãos cessam o acúmulo de nutrientes, é quando inicia a maturação fisiológica e as vagens mudam da coloração verde para marrom, sendo que nessa fase, a umidade dos grãos está próxima a 60% e já são visíveis como grão/semente na vagem. Neste momento, a semente já está totalmente formada, sendo possível formar uma nova planta, sendo que já contém todas as partes necessárias para dar início a uma nova geração.

No estágio R7 deve - se ter o cuidado com a síndrome da haste verde, situação que ocorre quando os grãos estão maduros e a haste permanece verde. Existem outros problemas que podem prejudicar a colheita como o acamamento que é resultado da alta densidade de plantas (cuidado conforme a cultivar utilizada), brotação de sementes e abertura de vagens. À medida que as vagens vão amadurecendo, diminui a probabilidade de abortamento destas, porém vagens maduras ao sofrem estresses, podem ser prejudicadas não por abortamento mas por rápido acúmulo de massa seca de grãos, resultando em grãos/sementes menores e conseqüentemente, menor rendimento.

O estágio R7 é crítico para infestação de perceijos, os quais podem causar danos severos nos grãos afetando o rendimento e a qualidade. Chuvas excessivas também podem ser prejudiciais neste estágio. Outro fator que pode afetar o rendimento é o acamamento que resulta perdas na colheita e baixa eficiência da luz solar. Este fator é aumentado com o crescimento da planta, irrigação e alta densidade populacional. Até o estágio R7 é preocupante a incidência de doenças como a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), esta apresenta lesões bronzeadas a marrom-escuras, causando lesão na folha e conseqüentemente redução da área fotossintética,

com isso, pode ocorrer queda de folhas e vagens, afetando a produtividade. Além da ferrugem, outras doenças podem causar danos nas plantas, como antracnose, podridão parda da haste, mancha olho de rã, podridão radicular de fitóftora, mancha parda e crestamento foliar de cercóspera.

Assim como as doenças, várias pragas também podem reduzir a produtividade. No final do ciclo da cultura, pragas como lagartas (Lagarta da Soja, Falsa Medideira, Spodoptera, Broca das Axilas e Helicoverpa) e percevejos.

Estádio reprodutivo – Maturação plena (R8)

É o último estágio da cultura da soja, conhecido como maturação plena a qual, é caracterizada quando 95% das vagens apresentam coloração madura. Mesmo as vagens estando com coloração marrom não indica ponto de colheita, é necessário que o grau de umidade esteja no máximo em 15%. O estágio R8 é conhecido também como estágio de colheita porém, ao chegar nesta fase, é necessário aguardar para que a umidade dos grãos esteja adequada, sendo necessário de 5 a 10 dias de clima seco após R8, para que atinja umidade inferior a 15%.

Em R8, pode ocorrer também a síndrome da haste verde e, neste caso a colheita deve ser realizada com colhedora em velocidade mais baixa, além é claro, de estar bem regulada para a operação.

No período da colheita, pode-se visualizar os resultados positivos e negativos da semeadura. A densidade de semeadura por exemplo, se for elevada resulta em acamamento e baixo aproveitamento de radiação e, se for baixa densidade, ocorre acúmulo de plantas daninhas na entrelinha, prejudicando a colheita e diminuindo a pureza e qualidade final dos grãos, além dessas plantas invasoras servirem de abrigo para muitas pragas que causam danos nos grãos como os percevejos. Menores densidades também resultam em maior número de ramos laterais e menor estatura de plantas e, estas ra-

mificações produzem mais vagens, tornando estas mais pesadas e são facilmente quebradas.

O atraso na colheita pode gerar prejuízos, sendo que, umidade abaixo de 13% aumenta as perdas de colheita. Em condições de baixa umidade, as vagens estão extremamente secas e sua abertura se torna muito fácil e, desta forma, muitos grãos são perdidos no solo. Além disso, grãos com baixa umidade são facilmente danificados por dano mecânico através do próprio processo de colheita. Esse dano pode ser reduzido por meio da regulação adequada da máquina, sendo que a velocidade do molinete e da colhedora devem estar sincronizadas.

Existem alguns itens importantes a serem seguidos em relação à colhedora, e desta forma, evitar perdas durante o processo de colheita: velocidade da colhedora, conferir a abertura do côncavo, velocidade do cilindro, peneiras e velocidade do ar de ventilação. Além destes, deve-se dar atenção a altura da barra de corte, visto que, a 9 cm de altura perde-se 5% da produção, e a 16,5 cm de altura perde-se 12%.

Agradecimentos

A todos os colegas que nos “brindaram” com belas fotos para ilustrar esse capítulo, pois trouxeram a realidade da prática do campo para ilustrar a teoria, o que certamente será consolidado em aprendizado e conhecimento. Ao CNPq pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa e auxílio no desenvolvimento dos projetos.

Referências

- ALAMBERT, M. R.; UMBURANAS, R. C.; SCHWERZ, F.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D. Stochastic Estimation of Potential and Depleted Productivity of Soybean Grain and Oil. *International Journal of Plant Production*, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00042-y>
- ANDREIS, C. et al. Estudo Fenológico em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no

- município de Santa Tereza-RS, RS, Brasil. R. *Árvore*, Viçosa, v.29, n.1, p.55-63, 2005.
- Arrested Development in the Soybean Field. *Part 1: Flower and pod abscission. Integrated Pest Management*, 2012. Disponível em: <https://ipm.missouri.edu/IPCM/2012/10/Arrested-Development-in-the-Soybean-Field/> Acesso em: 22 jul 2022.
- BARBOSA, G. C.; FRUGERI, A. P.; BORTOLOTTI, O. C.; SILVA, G V.; BUENO, A. F. Impacto de diferentes níveis de injúrias sobre a produtividade de cultivares de soja de hábito de crescimento determinado e indeterminado. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67783/1/ID-33358.pdf>).
- CÂMARA, G. M. S.. *Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção*. Visão Agrícola, Piracicaba, v. 3, n. ja/ju, p. 63-66, 2006.
- CIAMPITTI I. A.. Especialista em Produção agrícola e Sistemas de Cultivo, Departamento de Agronomia, Kansas State University. Crescimento e desenvolvimento da Soja; 2017.
- DRIESEN, P. M.; KONIJN, N. T. Land-use systems analysis. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1992.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, (Special Report, 80). Special Report. 87. p.11, 1977. <https://lib.dr.iastate.edu/specialreports/87>.
- GREEN, L. S.; EMERICH, D. W. Light microscopy of early stages in the symbiosis of soybean with a delayed-nodulation mutant of *Bradyrhizobium japonicum*. *Journal of Experimental Botany*. 50: 1577-1585. 1999.
- HARDMAN, L. L.; GUNSOLUS, JEFFREY, L.. Corn growth and development & management information for replant decisions. University of Minnesota. Agricultural Extension Service. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy. 1991. <http://hdl.handle.net/11299/207584>.

- MONPARA, J. K.; CHUDASAMA, K. S.; THAKER, V. S. Role of Phytohormones in Soybean (*Glycine max*) Seed Development. Russian Journal of Plant Physiology, Vol. 66, No. 6, pp. 992–998, 2019.
- NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A. L., FARIAS, J. R. B., & OYA, T.. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 19-44, 2000.
- PASCALE A. J.; DAMARIO, E. A. Climatologia agrícola y agroclimatologia. Buenos Aires: EFA, 550p. 2004.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. *Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 579p, 2019.
- RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. How a soybean plant develops. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension, 1982. 20 p. (Special Report, n. 53)
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 20p. (Special Report, 53).
- SHAMIMUZZAMAN, M.D. and VODKIN, L. Genome-wide identification of binding sites for NAC and YABBY transcription factors and co-regulated genes during soybean seedling development by ChIP-Seq and RNA-Seq Md Shamimuzzaman and Lila Vodkin. BMC Genomics, 2013, 14:477. Disponível em: <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/477>. Acesso: 22 jul 2022.
- SOYBEAN: bean Growth and Management - QUICK GUIDE. North Dakota State University. Fargo, North Dakota. MAY 2015.

ÉPOCA DE SEMEADURA DA SOJA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE RISCOS HÍDRICOS

Mateus Possebon Bortoluzzi¹ e Arno Bernardo Heldwein²

¹ Universidade de Passo Fundo (UPF), BR 285, Bairro São José, CEP 99052-900. Passo Fundo - RS, Brasil. E-mail: mateusbortoluzzi@upf.br

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima nº 1000, CEP 97105-900. Santa Maria - RS, Brasil.

Introdução

A definição da época de semeadura da soja envolve conhecimento sobre genética, ambiente, fenologia e o manejo empregado (ZANON et al., 2018). A escolha da data de semeadura da soja não acarreta custos ao produtor e dentre outros aspectos, modifica o potencial produtivo e a disponibilidade de água ao longo do ciclo de desenvolvimento. Além disso, também é uma estratégia para minimizar o risco de perda de produtividade em função de estresses. Para a obtenção de alto potencial produtivo da soja é necessário conhecer o clima da região de produção e a fenologia dos genótipos utilizados, de forma a coincidir a melhor oferta climática de acordo com as necessidades da soja nos diferentes estágios de desenvolvimento. Caso não seja possível realizar a semeadura na época planejada, pode-se ajustar em função do Grupo de Maturidade Relativa (GMR) das cultivares.

Apesar de a região Sul do Brasil apresentar um regime com médias normais de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, a disponibilidade de água para as plantas se modifica em função da variação diária da chuva e de todos os elementos meteorológicos em relação às normais climatológicas que influenciam na demanda atmosférica por água ao longo do ciclo. Climatologicamente, a demanda atmosférica é maior próximo ao solstício de verão, em que os dias são mais longos e há maior disponibilidade potencial de radiação solar, temperatura do ar e déficit de saturação do ar. Portanto, a coincidência da fase reprodutiva da cultura com esse período

pode aumentar o risco de déficit hídrico, o qual é um dos principais fatores responsáveis pela redução da produtividade de soja no Brasil (SENTELHAS et al., 2015).

O excesso hídrico também apresenta grande importância, pois reduz a germinação de sementes e afeta a população de plantas em seu estabelecimento inicial. Além disso, reduz a fixação biológica de nitrogênio e promove condições adequadas para a infecção da planta por patógenos de solo como verificado nas últimas safras. Na soja cultivada em terras baixas, estes danos são mais frequentes e são potencializados pelo decréscimo no conteúdo de oxigênio no solo (LINKEMER et al., 1998), o que reduz a condutância estomática e a taxa de fotossíntese, evoluindo para o amarelecimento e abscisão foliar com o prolongamento do período de excesso hídrico (OOSTERHUIS et al., 1990) e consequente redução da produtividade.

Época de semeadura e o potencial de produtividade

O potencial de produtividade está estreitamente relacionado às condições meteorológicas ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, as quais apresentam diferenças em função da época de semeadura (BOYER et al., 2015; BATTISTI et al., 2018; SILVA et al., 2018). A duração dos estágios e do ciclo de desenvolvimento de soja também é variável em função da data de semeadura, assim como do grupo de maturidade relativa (GMR) da cultivar empregada. De maneira geral, o ciclo da cultura da soja tem maior duração em semeaduras realizadas no mês de outubro que em dezembro (TRENTIN et al., 2013) principalmente devido a maior exposição das plantas de soja a uma condição de fotoperíodo decrescente a partir do solstício de verão, o que acelera o desenvolvimento. Tendência semelhante foi observada por Zanon et al. (2015) tanto para Santa Maria quanto para Capão do Leão, além de relatarem uma similaridade no desenvolvimento da soja em terras altas e baixas. O desenvolvimento da soja, assim como o crescimento, está

bastante atrelado ao hábito de crescimento das cultivares. Nos últimos anos, houve um aumento expressivo na utilização de cultivares indeterminadas, as quais possuem um período de sobreposição entre a fase vegetativa e reprodutiva e o crescimento em estatura e emissão de nós entre R1 e R5 maiores (ZANON et al., 2016). Se por um lado existe maior competitividade por fotoassimilados entre as estruturas vegetativas e reprodutivas, também existe uma maior plasticidade para contornar condições adversas, como a ocorrência de estresse hídrico e danos por pragas.

Dentre os principais aspectos que determinam a produtividade potencial da soja estão o suprimento de água (SENTELHAS et al., 2015) e o coeficiente fototérmico (Q), o qual é calculado como a razão entre a radiação solar incidente e a temperatura média (ZANON et al., 2016). Há uma relação direta da produtividade da cultura com o Q, principalmente entre o estágio R3 e R7 (Q_{R3-R7}). Assim, verifica-se uma redução do potencial de produtividade em semeaduras realizadas após o dia 4 de novembro, pois a magnitude do Q_{R3-R7} tende a reduzir à medida que se avança no calendário de semeadura. Cabe ressaltar que essa tendência é mais pronunciada em condição irrigada do que não irrigada, o que demonstra a influência da disponibilidade hídrica na produtividade da cultura. Dessa forma, a disponibilidade de água e o risco de ocorrência de estresses ao longo do ciclo e principalmente nos estágios de desenvolvimento mais críticos também precisam ser levados em consideração para uma definição mais adequada do momento de semeadura da soja.

Época de semeadura e a minimização de riscos

Nesse capítulo, objetivou-se caracterizar os riscos de ocorrência de déficit e excesso hídrico para a soja cultivada em terras baixas em função da data de semeadura e relacionar com o potencial de produtividade da soja. Para isso, serão apresentados dados de déficit e

excesso hídrico obtidos a partir da simulação do desenvolvimento de cultivares de soja com GMR entre 5.9 e 6.8, associado ao cálculo do balanço hídrico sequencial diário utilizando-se uma série histórica de dados meteorológicos de mais de 45 anos obtidos nas estações climatológicas de Santa Maria e Pelotas (Capão do Leão), no Rio Grande do Sul. Os resultados desses cálculos foram submetidos à análise de probabilidade, obtendo-se assim as informações de risco climático. Maiores detalhes sobre a metodologia empregada podem ser encontradas no trabalho desenvolvido por Bortoluzzi (2019).

De maneira geral, o risco de ocorrência de déficit hídrico ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja apresenta tendência decrescente ao longo do calendário de semeadura em ambos os locais estudados (Figura 1). De maneira geral, pode-se dizer que essa tendência de decréscimo pode ser considerada similar para as demais regiões de cultivo de soja no RS, porém com as diferenças específicas de magnitude de acordo com as características pluviométricas, da capacidade de armazenamento de água disponível às plantas nos diferentes solos e de demanda atmosférica de cada região. Verificou-se, por exemplo, que o risco de déficit hídrico no ciclo da soja foi menor em Pelotas em relação à Santa Maria, principalmente devido à menor evapotranspiração da cultura no Sul do RS. Pilau et al. (2018) verificaram aumento da necessidade de irrigação para semeaduras a partir de outubro até dezembro no RS, indo ao encontro dos resultados obtidos nesse trabalho. Além disso, a necessidade de irrigação aumenta de leste para oeste no RS, sendo o baixo vale do Uruguai a região de maior demanda.

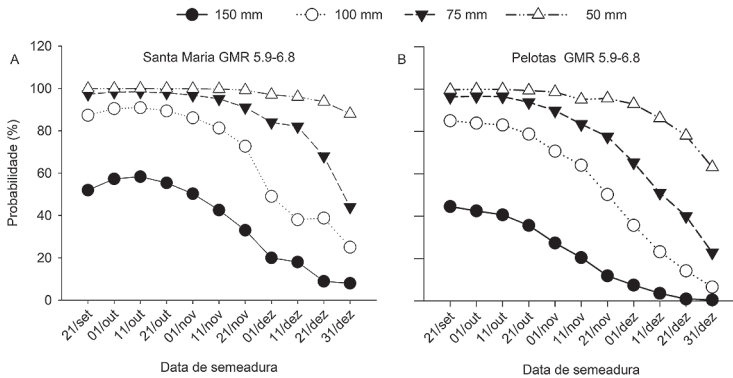


Figura 1. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico igual ou maior que 50, 75, 100 e 150 mm durante o ciclo de desenvolvimento da soja, de grupos de maturidade relativa (GMR) entre 5.9 e 6.8, considerando onze datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2017 em Santa Maria (A) e 1971 a 2017 em Pelotas (B), respectivamente.

Considerando o nível de risco de 75 mm, verifica-se uma redução da probabilidade de ocorrência de déficit hídrico no ciclo da soja a partir de 21/nov para Santa Maria (Figura 1A) e 01/nov para Pelotas (Figura 1B). Para os níveis de risco de ocorrência de 100 e 150 mm, verifica-se uma redução gradativa da primeira (21/set) para a última (31/12) data de semeadura (Figura 1). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Cunha et al. (2001), em que semeaduras realizadas até 15 de novembro são as que apresentam maior probabilidade de perda de potencial de produtividade, principalmente para a Metade Sul do RS.

Além do ciclo total de desenvolvimento, também é necessário verificar o risco de ocorrência de déficit hídrico especialmente em dois subperíodos críticos da soja. Considerando o subperíodo compreendido entre o início da floração (R1) e o início do enchimento de grãos (R5), o maior risco de ocorrência de déficit hídrico coincide para as semeaduras realizadas no mês de outubro, principalmente para os níveis de 25, 50 e 75 mm de déficit hídrico (Figura 2A, 2C). Verifica-se que a partir de 01/

nov há um decréscimo linear dos valores de risco (Figura 2A, 2C). Resultados semelhantes foram obtidos para o subperíodo compreendido entre a antese e a maturação leitosa do milho, em que as sementeiras simuladas até o início de novembro apresentaram a maior deficiência hídrica (fração deficitária) (NIED et al., 2005). Já para o subperíodo entre R5 e a maturação fisiológica (R7) verifica-se uma tendência decrescente de 21/set para 31/dez, considerando os níveis de risco de déficit hídrico 25, 50 e 75 mm em ambos os locais (Figura 2B, 2D).

As estimativas dos valores de probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de excesso hídrico ao longo do ciclo da cultura da soja em terras baixas indicam que o risco de ocorrer excesso hídrico durante o ciclo de desenvolvimento é maior para a soja semeada precocemente, em ambos os locais considerados (Figura 3A; 3B). Assim, por exemplo, as cultivares de GMR 5.9-6.8 semeadas em 21/09 em Santa Maria apresentam probabilidade de 78% dos anos de que ocorra 35 ou mais dias de excesso hídrico ao longo do ciclo de desenvolvimento, reduzindo esse risco para 35 % dos anos para a sementeira de 21 de dezembro (Figura 3A). Essa interpretação pode ser utilizada para todas as demais datas de sementeira. Para Pelotas tem-se menor risco de excesso hídrico no ciclo para sementeiras a partir de 21 de novembro (Figura 3B).

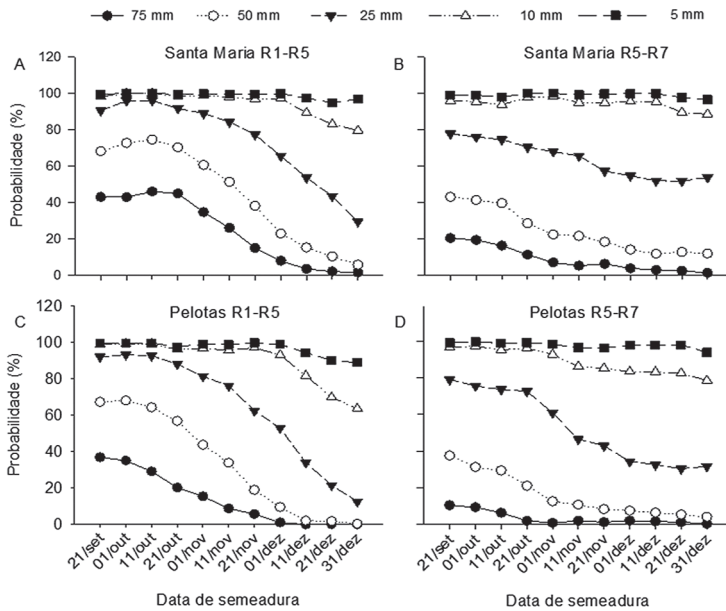


Figura 2. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico igual ou maior que 5, 10, 25, 50 e 75 mm acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento da soja início da floração - início do enchimento de grãos (R1-R5), início do enchimento de grãos - início da maturação (R5-R7) de grupos de maturidade relativa (GMR) entre 5.9 e 6.8, considerando onze datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2017 em Santa Maria (A, B) e 1971 a 2017 em Pelotas (C, D), respectivamente.

Nos dois locais analisados, o risco de ocorrência de excesso hídrico nos subperíodos compreendidos entre a semeadura (S) e a emergência (EM) e entre a EM e primeira folha trifoliolada (V2) é maior nas primeiras datas de semeadura (Figura 4). Para o nível de risco de ocorrência de pelo menos quatro dias de excesso hídrico, as semeaduras simuladas até 01/nov apresentaram probabilidade acima de 80%. Assim, com exceção dos anos em que não ocorre excesso hídrico nesses subperíodos (aproximadamente 25% dos anos), em oito a cada dez anos em que for realizada a semeadura da soja nestas datas ocorrerão quatro ou mais dias de ex-

cesso hídrico no solo, o que é extremamente prejudicial ao processo germinativo podendo levar à necessidade de ressemeadura.

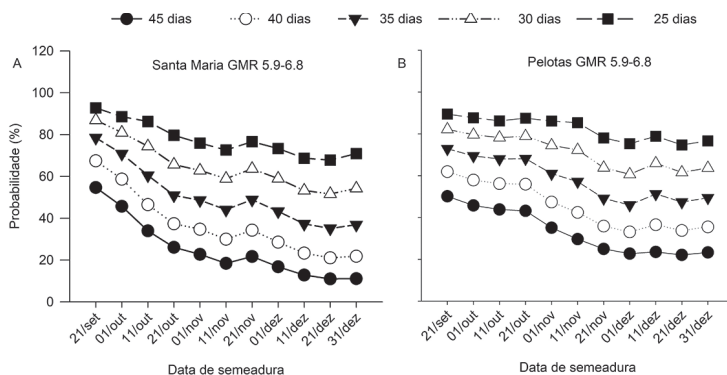


Figura 3. Probabilidade de ocorrência de excesso hídrico igual ou maior que 25, 30, 35, 40 e 45 dias durante o ciclo de desenvolvimento da soja, de grupos de maturidade relativa (GMR) entre 5.9 e 6.8, considerando onze datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2017 em Santa Maria (A) e 1971 a 2017 em Pelotas (B), respectivamente.

Esses resultados foram obtidos considerando as características específicas das áreas de cultivo de soja em terras baixas e ao contrário dos dados de déficit hídrico, sua extrapolação para áreas de terras altas fica bastante comprometida. De qualquer forma, têm sido recorrentes os problemas com excesso hídrico e patógenos de solo no estabelecimento de plantas em lavouras semeadas no mês de outubro, indo ao encontro das informações apresentadas neste capítulo.

Por outro lado, a partir de 11/nov os riscos de ocorrer 8 ou 12 dias com excesso hídrico são significativamente menores (Figura 4). Considerando apenas o problema excesso hídrico e havendo umidade do solo adequada a germinação, o produtor poderá tomar a decisão de antecipar a semeadura em relação a 11/nov desde que a previsão meteorológica assegure uma probabilidade muito baixa de chuva em excesso nos dias seguintes a realização da semeadura. Esses resultados demonstram por si só que a análise numérica diária de

uma longa série de dados para obter os riscos reais por subperíodo são uma informação importante para refinamento do zoneamento agroclimático da soja em áreas específicas.

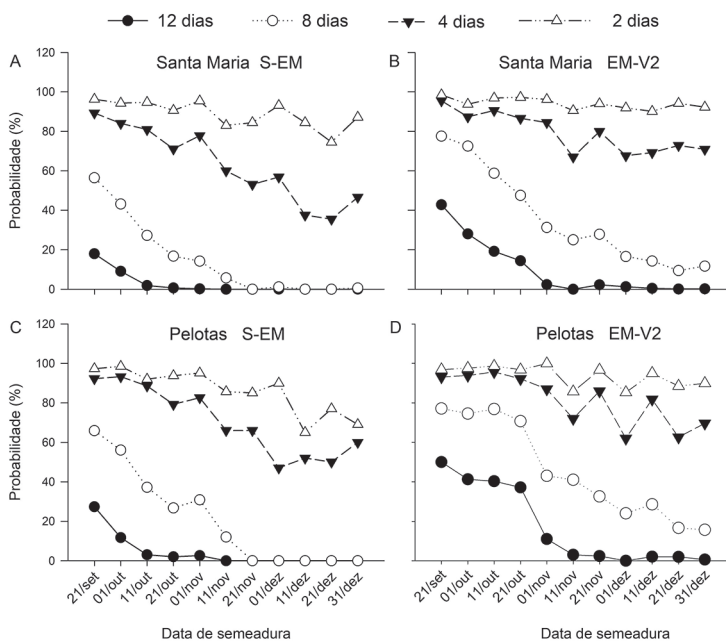


Figura 4. Probabilidade de ocorrência de excesso hídrico igual ou maior que 2, 4, 8 e 12 dias acumulados durante os subperíodos de desenvolvimento da soja semeadura - emergência (S-EM), emergência - primeira folha trifoliolada (EM-V2) de grupos de maturidade relativa (GMR) entre 5.9 e 6.8, considerando onze datas de semeadura simuladas em cada ano do período de 1968 a 2017 em Santa Maria (A, B) e 1971 a 2017 em Pelotas (C, D), respectivamente.

Considerações finais

De maneira geral, verificam-se situações opostas que dificultam a definição da data de semeadura ideal da soja. Se por um lado há um decréscimo do potencial de produtividade em semeaduras realizadas a partir do início de novembro (ZANON et al., 2016), de outro é no início do calendário de semeadura que os riscos de es-

três, tanto por déficit quando por excesso hídrico são maiores.

No oeste de Santa Catarina, Meotti et al. (2012) verificaram que semeaduras realizadas entre 15 de outubro e 15 de novembro resultam em maior produtividade de grãos da cultura da soja. Na região Sul do RS, as maiores produtividades de soja em solos aráveis obtidos por Mundstock et al. (2017) ocorreram em semeaduras realizadas de 01 a 15 de novembro. Rocha et al. (2018) apontam o período compreendido entre 15 de outubro e 15 de novembro como o preferencial para a semeadura de soja em terras baixas, tendo em vista que as maiores produtividades são obtidas nesse intervalo, tanto em nível potencial e experimental quanto em nível de lavouras comerciais. Há redução da produtividade da ordem de até $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ para semeaduras após 15 de novembro, aumentando a lacuna de produtividade entre a produtividade potencial e a obtida em lavouras.

A menor produtividade verificada em semeaduras realizadas antes de 15 de outubro nas lavouras e nos experimentos (ROCHA et al., 2018) pode estar relacionada à ocorrência de excesso e déficit hídrico, os quais são mais pronunciados para semeaduras nesse período, conforme os resultados de análise de risco climático apresentados nesse capítulo. Além disso, semeaduras realizadas no final de setembro geralmente expõem as sementes a condições de temperatura do solo baixas, o que prejudica a formação de uma população de plantas uniforme e adequada. Da mesma forma, deve-se tomar cuidado com a utilização de cultivares de GMR abaixo de 5.9, as quais podem ser induzidas a florescer precocemente devido ao fotoperíodo curto, limitando o crescimento das plantas.

Portanto, essa janela de semeadura preferencial (15/10 a 15/11) corrobora com as informações históricas climáticas geradas acerca da ocorrência de excesso e déficit hídrico, os quais estão entre os principais fatores relacionados à redução da produtividade da soja. Assim, semeaduras realizadas antes de 15 de outubro, apesar

de apresentarem alto potencial de produtividade, devem ser evitadas caso seja optado pela redução do risco de perdas, os quais se reduzem significativamente para semeaduras a partir de 01/nov.

Além disso, especialmente em áreas de terras baixas, semeaduras realizadas na segunda quinzena de outubro deveriam ser consideradas por produtores com práticas de manejo já consolidadas, enquanto a primeira quinzena de novembro pelos produtores que estão iniciando suas atividades em terras baixas. Essa indicação se deve ao fato de que semeaduras realizadas a partir de 01 de novembro são as que apresentam menor risco de ocorrência de déficit hídrico e que o menor risco de ocorrência de excesso hídrico no ciclo e no estabelecimento inicial da soja se dá a partir de 11 de novembro na Metade Sul do RS.

Referências

- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PASCOALINO, J.A.L.; SAKO, H.; DANTAS, J.P.S.; MORAES, M.F. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 3, p. 159-168, 2018.
- BORTOLUZZI, M.P. **Risco de excesso e déficit hídrico na soja em terras baixas**. 2019. 164f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- BOYER, C.N.; STEFANINI, M.; LARSON, J.A.; SMITH, A.; MENGISTU, A.; BELLALOU, N. Profitability and risk analysis of soybean planting date by maturity group. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2253-2262, 2015.
- LINKEMER, G.; BOARD, J.E.; MUSGRAVE, M.E. Waterlogging effect on growth and yield components of late-planted soybean. **Crop Science**, v. 38, n. 6, p. 1576-1584, 1998.
- MEOTTI, G.V.; BENIN, G.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.14-21, 2012.

- MUNDSTOCK, C.M.; SCHOENFELD, R.; ALMEIDA, D.; CARLOS, F.S.; ZANON, A.J.; ULGUIM, A.R.; OGOSHI, C.; MARCOLIN, E.; MORAIS, F.A.; BADINELLI, P.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I. **Soja 6.000 Manejo para alta produtividade em terras baixas**. 1 ed. Porto Alegre: IRGA, 2017. 68p.
- NIED, A. H. HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J.C.; ALBERTO, C.M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p. 995-1002, 2005.
- OOSTERHUIS, D.M.; SCOTT, H.D.; HAMPTONS, R.E.; WULLSCHLEGER, S.D. Physiological response of two soybean [*Glycine max* L. Merr] cultivars to short-term flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v.30, n.1, p.85-92, 1990.
- PILAU, F.G.; BATTISTI, R.; DALMAGO, G.A. Requerimento de irrigação suplementar e eficiência climática para a cultura da soja no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v.26, n.2, p.317-325, 2018.
- ROCHA, T.S.M. STRECK, N.A.; GIOVANA, G.R.; WEBER, P.S.; ZANON, A.J.; RICHTER, G.L.; DUARTE, A.; TAGLIAPIETRA, E.L.; DA SILVA, M. R.; BEXAIRA, K.P.; LANDSKRON, G.R.; MILANESI, R.; PUNTEL, S.; ANDRADE, F.; SCHUTZ, R.P. Época de semeadura para reduzir a lacuna de produtividade de soja em terras baixas no Rio Grande do Sul. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2018, Goiânia/GO **Anais...** Brasília/DF: EMBRAPA, 2018. p. 353-355.
- SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B. The soybean yield gap in Brazil-magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v.153, n.8, p.1394-1411, 2015.
- SILVA, C.M.; MIELERZRSKI, F.; CHAVES, D.V.; LIMA, E.A.; FILHO, J.A.C.; SILVA, A.V. Sowing seasons × maturity groups on quantitative traits in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2018.

- TRENTIN, R.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A.; TRENTIN, G.; SILVA, J.C. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.7, p.703-713, 2013.
- ZANON A. J. et al. **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. Santa Maria, RS. Palloti, 2018. 136 p.
- ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.108, p.1447-1454, 2016.
- ZANON, A.J.; WINCK, J.E.M.; STRECK, N.A.; ROCHA, T.S.M.; CERA, J.C.; RICHTER, G.L.; LAGO, I.; SANTOS, P.M.; MACIEL, L.R.; GUEDES, J.V.C.; MARCHESAN, E.. Development of soybean cultivars as a function of maturation group and growth type in high lands and in lowlands. **Bragantia**. v.74, n.4, p.400-411. 2015.



PLANTABILIDADE E VELOCIDADE DE SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA

**Thomas Newton Martin¹, Giovane Matias Burg², Vinicius dos Santos Cunha³,
Marlo Adriano Bison Pinto⁴, João Leonardo Fernandes Pires⁵ e Rosana Taschetto Vey⁶**

¹ Universidade Federal de Santa Maria, martin.ufsm@gmail.com

² Eng. Agr. Dr. Consultor de vendas (Cotrirosa): gio_burg@hotmail.com

³ Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, viniciuscunha@unipampa.edu.br

⁴ Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi, marlo.pinto@iffarroupilha.edu.br

⁵ Embrapa Trigo, joao.pires@embrapa.br

⁶ Inocular Soluções Agrícolas, inocular.contato@gmail.com

Introdução

A obtenção do estande de plantas desejado se dá, basicamente, pela regulagem do fluxo de sementes na semeadora, corrigindo a densidade por meio da qualidade do lote de sementes a ser utilizado. Porém, nem sempre o estande desejado é alcançado, em virtude de outros fatores estarem envolvidos no processo. Esses fatores podem retardar ou impossibilitar a adequada emergência das plântulas, o que afeta a uniformidade do estande obtido. Com isso, o termo plantabilidade, ou ainda semeabilidade, está relacionado com a qualidade de distribuição vertical de sementes no sulco de semeadura e, horizontal pela variação de distância entre as sementes na fileira de semeadura. A uniformidade de distribuição de plantas, se traduz em lavouras bem estabelecidas com baixa competição intraespecífica, com cada planta possuindo mesmo ambiente para o seu desenvolvimento.

Há de se considerar que as culturas se comportam de formas diferenciadas entre si, pois possuem diferenças quanto a área e arquitetura foliar, ciclo, mecanismos de fixação de carbono, dentre outras. Além disso, cultivares por terem ciclos e hábitos de crescimento distintos, podem ter desenvolvimento e estabelecimento distintos. Além disso, com a especialização no manejo de culturas, não seria racional estabelecer um único conceito a diversas culturas e situações diferenciais de ambiente.

No caso da não obtenção do estande de plantas desejado as plantas de soja diferenciam-se em relação aos mecanismos compensatórios dos espaços falhos e duplos e, conseqüentemente, apresentam resposta diferenciada frente a diferentes níveis desses espaços. A determinação do que é um espaço falho ou duplo se dá em função do que seria o espaço ideal entre plantas dentro da fileira (ABNT, 1996), dividindo um metro linear pela população de plantas na fileira. Sendo assim, considera-se uma falha quando há um espaçamento 1,5 vezes maior que o espaçamento ideal, e duplo quando o espaçamento é 0,5 vezes menor que o espaçamento ideal entre duas plantas dentro da fileira. Quando um espaçamento estiver dentro dos limites citados, os valores de espaçamento entre plantas são considerados aceitáveis. Esta denominação de espaço falho, duplo e ideal tem relação direta com a uniformidade, haja visto que, quanto maior o número de espaçamentos aceitáveis, maior é a uniformidade do estande.



Figura 1. Ilustração de espaçamentos falhos, duplo e aceitável em lavoura de soja. (Fonte: Cunha, 2014).

No que diz respeito a compensação da produtividade de grãos, a soja tem possibilidade de compensar um percentual elevado de falhas/duplas, devido a formação de estruturas reprodutivas ao final do seu ciclo. A compensação se dá pelo aumento do número de ramos laterais por planta, número de legumes por ramo

lateral, acúmulo de biomassa pelas plantas no início do enchimento de grãos, do número de legumes por planta e número de grãos por planta (COX et al., 2010).

Tomando como base, para soja, uma população de 14 plantas m^{-1} , obtida a partir de um lote com 100% de germinação (hipotético), o espaçamento adequado entre as plantas, considerando espaçamento entre fileiras de 45 centímetros, seria de 7,14 centímetros. Nesse caso, a distribuição seria equidistante, sem falhas ou duplas, e todas as plantas teriam as mesmas condições para produzir, sendo esta uma condição praticamente ideal para obtenção de máxima produtividade. Nessa situação, eventuais diferenças de produtividade de grãos entre as plantas estariam atribuídas à variabilidade genética intrínseca a população, ou mesmo a condições de clima e solo. Mas não é isso o comumente encontrado em lavouras de soja. A qualidade e uniformidade do lote de sementes (KOLCHINSKI et al., 2005), a velocidade do conjunto trator-semeadora (JASPER et al., 2011), utilização de semeadora com baixa precisão (ANDRADE & ABBATE, 2005), profundidade de deposição da semente no sulco de semeadura (GROTTA et al., 2008), condições de umidade, temperatura e salinidade no solo para o processo de germinação (déficit ou excesso hídrico), etc, são fatores que também exercem influência sobre a uniformidade do estande de plantas. Os mecanismos utilizados pelas plantas para compensar decréscimos na população estão, de certa forma, esclarecidos em livros e artigos científicos. Porém, é necessário o entendimento do quanto à produtividade de grãos é afetada pela ineficiência em distribuir uniformemente as plantas dentro da fileira. Definindo-se assim um ponto de compensação limite para cada ambiente/cultivar/cultura. Sendo cada vez mais necessário o entendimento do responsável pela lavoura. Além disso, deve-se entender a capacidade compensatória de cada planta, favorecida pela minimização da competição intra-específica.

Nesse sentido, uma inquietação no estabelecimento da lavoura pode ser minimizada, reduzindo gastos econômicos, ambientais e sociais: Será necessário ressemeiar a minha lavoura? Pela má distribuição de plantas, ou redução na densidade de plantas?

Uma condição onde não haja variabilidade na distribuição de plantas dificilmente pode ser alcançada em nível de lavoura comercial. Por exemplo, a variação na velocidade de semeadura tem impacto sobre a distribuição das sementes, e quando aumentada contribui para o aumento do número ou percentual de espaçamentos falhos e duplos. Jasper et al. (2011) observaram que o aumento da velocidade de 4 para 12 km h⁻¹ não alterou a população de plantas de soja, mas diminuiu de forma linear o número de espaçamentos aceitáveis, mesmo com utilização de semeadora pneumática. Além disso, as sementes podem não serem depositadas a uma mesma profundidade, em virtude do mecanismo de abertura do sulco e deposição das sementes utilizadas e ainda, pelas irregularidades do terreno e acúmulo de palha. Sementes de soja quando depositadas a mais de sete centímetros de profundidade podem ter dificuldades de emergência (GROTTA et al., 2008). A presença de espaçamentos falhos propicia o desenvolvimento de plantas invasoras e aumento na competição interespecífica. Espaços duplos submetem as plantas a maior competição intraespecífica, podendo crescer em demasia, acamando e reduzindo o potencial produtivo (TOURINO et al., 2002). A falha na deposição vertical da semente, quando em demasia, pode atrasar a emergência ou até mesmo impossibilitá-la, aumentando a desuniformidade do estande. A ocorrência de restrição hídrica (PEREIRA et al., 2013) assim como de excesso (MODOLO et al., 2008), também podem agravar o problema da emergência das plântulas e consequentemente a uniformidade, bem como, a ocorrência de pragas e moléstias.

Andrade & Abbate (2005), conduziram experimentos com o objetivo de entender como plantas de

milho e soja comportam-se frente à uniformidade/desuniformidade de distribuição em seu estande. Os autores observaram que a soja não foi afetada pelo aumento na desuniformidade, sendo que a menor variação encontrada foi de 30% e a maior de 55%, não havendo diferença de produtividade nesse intervalo. Jasper et al. (2011) encontraram resultados semelhantes, onde a velocidade de semeadura diminui o percentual de espaçamentos aceitáveis e aumentou o percentual de espaçamento duplo sem afetar a produtividade de grãos de soja. Com a presença de uma variação na fileira de semeadura, a planta que está com maior disponibilidade de área é "beneficiada", pois há uma maior penetração de luz nos extratos mais baixos do dossel. Com isso o tempo de duração foliar é maior, bem como reduz-se o tempo de molhamento foliar (condição para a ferrugem) e consequentemente a planta sustenta maior número de legumes por planta, propiciando compensação superior das plantas de soja tendo assim uma plasticidade produtiva adequada.

Trabalho de Tourino et al. (2002) mostra sensibilidade da má distribuição de plantas. Estes autores observaram que o aumento da desuniformidade (CV, %) causou redução linear na produtividade quando a soja foi cultivada com menor população de plantas (22 plantas m^{-2}), não ocasionando prejuízo em população maior (35 plantas m^{-2}). Tourino et al. (2002) utilizaram a cultivar CAC-1, que parece ser desprovida da mesma capacidade de compensação que as cultivares atuais possuem (Figura 2) e por isso o maior impacto foi na população mais baixa. Porém, trabalhos como de Andrade & Abate (2005) e Jasper et al. (2011) e o exposto na Figura 2 mostram que a soja possui mecanismos que podem compensar suficientemente certos níveis de desuniformidade, advindas dos processos envolvidos durante após a semeadura. As imagens da Figura 2 representam um experimento realizado na Universidade Federal de Santa Maria, que tem como objetivo testar quatro níveis de perda de plantas (0, 25, 50, 75%).

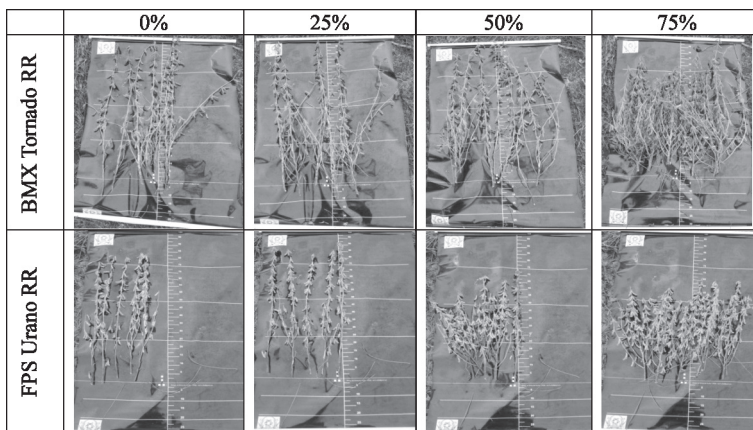


Figura 2. Esquema de fotos para visualização das modificações na morfologia da soja quando submetida a diferentes níveis de perda de plantas (Fonte: Cunha, 2016).

Na Figura 2 é possível observar a capacidade que a planta de soja tem em modificar a sua morfologia quando ocorre perda de plantas vizinhas, aumentando o número de ramos laterais e, conseqüentemente, de legumes por planta. Tanto a cultivar com tipo de crescimento indeterminado (BMX Tornado RR), como a com tipo determinado (FPS Urano RR) demonstram alta capacidade de compensar a perda de produtividade em resposta a perda aleatória de parte da população de plantas. Fazendo um comparativo, em uma lavoura de soja onde ocorre a perda de 75% de sua população ideal, as plantas podem apresentar 3,20 vezes mais legumes por planta. Porém, mesmo que esse aumento no número de legumes seja expressivo ele não é suficiente para compensar totalmente, haja visto que, a população nesse caso, é 4 vezes menor que o ideal.

Em termos percentuais ainda não é possível determinar o nível de desuniformidade ou perda de plantas tolerado pela soja sem que haja repercussão na produtividade de grãos. Porém, os resultados preliminares evidenciam que valores próximos ou até mesmo superiores a 25% de morte de plantas, não causam decréscimo na

produtividade de grãos de soja, quando o solo e clima apresentam condições favoráveis para que as plantas remanescentes tenham capacidade de expressar seu potencial produtivo. Em anos onde a disponibilidade hídrica não é satisfatória, ou mesmo em solos de baixa aptidão agrícola, a adaptação da planta a uma condição de perda de parte da população pode ser diferente, não havendo ainda um resultado experimental para esta situação.

Velocidade de semeadura

A melhoria no processo de implantação e condução da cultura da soja, juntamente com a expansão das áreas de cultivo, cultivares mais produtivas, contribuíram consideravelmente para o aumento da produção nos últimos anos. As cultivares de soja atuais possuem uma ampla variação na densidade de semeadura, adaptando-se a diferentes níveis tecnológicos. A homogeneidade das sementes, a distribuição vertical e horizontal no sulco de semeadura, disponibilidade adequada de umidade no solo e temperatura proporcionam uma emergência uniforme e rápida das plântulas. Considerando a distribuição de plantas na fileira, deve-se ponderar alguns aspectos ligados a semente como o tamanho, geminação e vigor. A importância do arranjo mais adequado, a uniformidade de espaçamento entre as plantas distribuídas na fileira também pode influenciar na produtividade dessa cultura.

As características de distribuição de plantas podem implicar no aproveitamento ineficiente dos recursos disponíveis, como luz, água e nutrientes para maximizar a produtividade da cultura. As causas da aglomeração de plantas em alguns pontos da fileira podem provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menos ramificadas, com menor produção individual, diâmetro de haste reduzido, e, portanto, mais propensas ao acamamento.

A velocidade de semeadura altera a movimentação do solo no sulco, alterando a distribuição linear e em profundidade das sementes no sulco (Jasper et al., 2006). Conforme as normas da ABNT (Projeto de norma

04: 015.06-004) que considera o erro “duplo” quando a distância entre sementes é menor que 0,5 vezes o espaçamento nominal; e as “falhas” quando a distância entre sementes é maior que 1,5 vezes o espaçamento nominal e, “aceitáveis” quando os espaçamentos estiverem entre 0,5 a 1,5 vezes o espaçamento nominal (ABNT, 1994).

A irregularidade de distribuição de plantas é caracterizada quando ocorre o aumento na velocidade de semeadura. Nesse aumento de velocidade gera consequências como a redução da porcentagem do espaçamento entre as sementes aceitáveis na fileira, maior movimentação do solo na abertura e fechamento do sulco além de alterar a distribuição regular das sementes em profundidade (FURLANI et al., 2010). O curto período de dias de semeadura em condições de clima favorável faz, muitas vezes, com que haja necessidade de aumento na velocidade de semeadura para semear na época recomendada. Dessa forma o aumento da velocidade provoca uma variação na trajetória das sementes, causando o “repique” dentro do tubo condutor, atrasando ou antecipando a queda da semente no sulco, alterando o espaçamento entre as sementes na fileira (FERREIRA et al., 2019).

Na semeadura devem ser analisadas outras características como largura do conjunto de semeadora, abertura de sulcos e profundidade de semeadura de forma a proporcionar economia de potência do conjunto mecânico (trator) que ao mesmo tempo, garantir a adequada deposição do fertilizante e das sementes. A abertura de sulcos é realizada por sulcadores, dentre os quais, os mais usuais são do tipo discos duplos e hastes sulcadoras. Sendo esses elementos que interferem na velocidade e qualidade de semeadura desde a mineralogia, textura e umidade do solo. A escolha da velocidade correta do conjunto trator/semeadora/adubadora é indispensável para que se possa obter a maior produtividade, sendo a definição deste fator operacional importante à adequada implantação da cultura da soja (SANTOS et al., 2017).

Mecanismos de distribuição das sementes

A produção de grãos, fundamentada em sistemas sustentáveis, requer o desenvolvimento de equipamentos agrícolas cada vez mais eficientes e precisos. As semeadoras representam importante elemento nesse contexto, uma vez que o desenvolvimento de uma cultura bem como sua produção, dependem em parte, de uma correta distribuição de sementes por unidade de área (MACHADO; REYNALDO, 2017). A uniformidade da distribuição longitudinal de sementes é uma das características que mais contribui para a obtenção de um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, de boa produtividade da cultura (CORTEZ et al., 2006). Atualmente, existem diversos mecanismos distribuidores de sementes compondo as semeadoras. Muitos deles já estão sendo utilizados comercialmente, como, por exemplo, o mecanismo de discos perfurados (horizontais e verticais), dedos prensos, sistemas pneumáticos de pressão e a vácuo. Cada um desses mecanismos possui características que influenciam o desempenho de semeadoras quanto à uniformidade na distribuição longitudinal de sementes (BARR et al., 2019).

Além dos mecanismos distribuidores, a velocidade correta do conjunto trator-semeadora é essencial. As semeadoras atuais não permitem que essa prática seja realizada acima de 8 km h^{-1} com a precisão necessária. Para que ocorra qualidade de semeadura, uma frequência de espaçamentos duplos e falhos reduzidos entre sementes, é necessária atenção com os equipamentos de semeadura. Velocidades de 4 a 6 km h^{-1} se recomenda discos com sistemas mecânicos e, para velocidades até 8 km h^{-1} recomenda-se o sistema pneumáticos (BERTELLI et al., 2016). JASPER et al. (2011) mostraram que ao se deparar com semeadoras mecânicas com discos horizontais e semeadoras pneumáticas, a distribuição longitudinal das sementes no sistema pneumático é eficiente, até mesmo quando a velocidade é aumentada. À medida que a velocidade aumenta, os espaçamentos múltiplos aumentam e os espaçamentos aceitáveis di-

minuem, mas, mesmo assim o sistema pneumático foi o mais adequado comparado ao sistema mecânico com disco horizontal.

A velocidade de semeadura afeta o sistema de dosagem, prejudicando o sistema que individualiza as sementes, bem como a passagem por ele, a passagem pelo tubo condutor e a velocidade com que a semente chega ao sulco de semeadura (PINHEIRO NETO et al., 2008). Além disso, à medida que a velocidade aumenta ocorre maior abertura do sulco, afetando a alteração da profundidade da semente (TOURINO et al., 2002). Para o processo de semeadura, as sementes liberadas pelos mecanismos dosadores da semeadora adquirem dois componentes de velocidade, um vertical, devido a queda livre da semente e outro horizontal, devido ao deslocamento do conjunto trator-semeadora. O componente horizontal de velocidade faz com que as sementes arremessadas para fora do local de destino, no momento do impacto com o solo, alteram o espaçamento entre as sementes (BARR et al., 2019). Conforme pesquisa realizada por Jasper et al. (2011), a distribuição de espaçamentos duplos aumentou e os espaçamentos aceitáveis diminuíram de acordo com a velocidade de semeadura, sempre com valores melhores do que os encontrados com o sistema de semeadora com disco horizontal. O componente horizontal fará com que a semente colida com a parede do tubo condutor, alterando assim o tempo de queda livre da semente ao solo e, portanto, alterando a distância entre eles (CORTEZ et al., 2006). A regularidade na deposição de semente no sulco com o sistema de componente horizontal, pode diminuir os danos causados no deslocamento de semente pelo tubo condutor e assim evitando amassados, dobras e cortes que possam interferir no fluxo livre de sementes depositados no sulco (BARR et al., 2019).

Na figura 3a percebe-se que o aumento da velocidade de semeadura reduz a cobertura do solo, assim como, aumenta a temperatura no sulco de semeadura e diminui a umidade do solo (BURG, 2021).

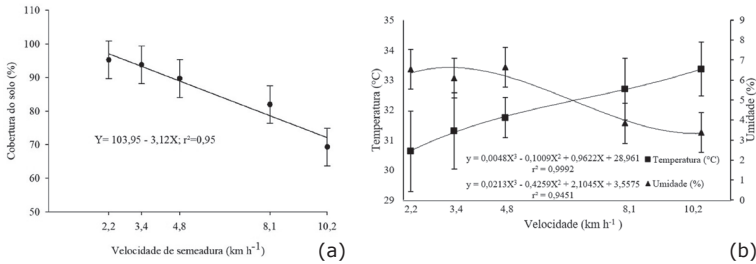


Figura 3. Variação percentual da cobertura do solo (CS) em função da velocidade após a realização da semeadura da soja (a), temperatura do solo (°C) e umidade (%) aos 4 DAS (Dias após semeadura) (b) com diferentes velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h⁻¹). Santa Maria (RS), 2018/2019.

Na figura 4a verifica-se que a coinoculação no sulco de semeadura aumenta o número de nódulos, independentemente da velocidade de semeadura e, isso também possui repercussão na massa de nódulos por planta (figura 4b) (BURG, 2021).

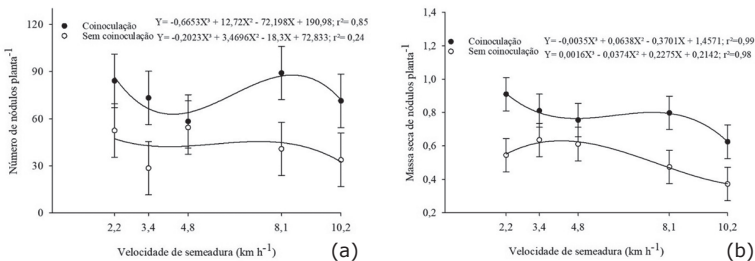


Figura 4. Número (a) e massa seca de nódulos (b) por planta na coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) e sem coinoculação em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h⁻¹). Santa Maria (RS), 2018/2019.

Quanto a produtividade de grãos (figura 5b) e massa de mil grãos (figura 5a), verifica-se que, sempre que se realizou a coinoculação os resultados foram superiores. E que velocidades de semeadura até 4,8 km h⁻¹ representam maiores produtividade de grãos (BURG, 2021).

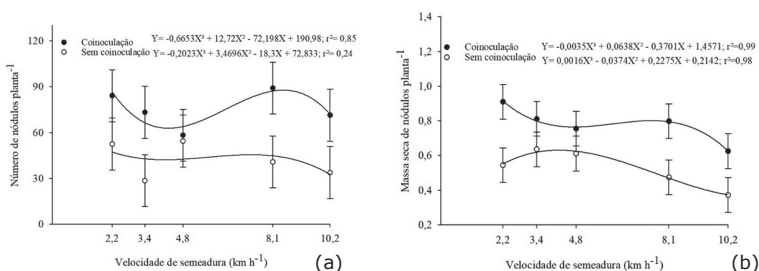


Figura 5. Massa de mil grãos (a) e produtividade de grãos (b) nos tratamentos sem e com coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h⁻¹). Santa Maria (RS), 2019/2020.

Considerações Finais

O aumento da velocidade de semeadura reduz a homogeneidade da distribuição das sementes no sulco de semeadura, aumenta a temperatura e reduz a umidade do solo. Além disso, a coinoculação das sementes de soja aumenta a capacidade de nodulação, massa de nódulos, produtividade de grãos e massa de mil grãos. Velocidades de semeadura até 4,8 km h⁻¹, apresentam melhores resultados.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04: 015.06 – 004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. São Paulo: 1994. 26p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. São Paulo: 1996. 21 p.
- ANDRADE, F.H.; ABBATE, P.E. Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. **Agronomy Journal**, v. 97, p.1263-1269, 2005.
- BARR, J. B. et al. Development and field evaluation of a high-speed no-till seeding system. **Soil and Tillage Research**, v.194, p.104-337, 2019.

- BERTELLI, G. A. et al. Plantability performance of pneumatic seeders in the soybean culture implantation in the Piauí cerrado-Brasil. **Applied Research & Agrotechnology**, v.9, n.1, p.91-103, 2016.
- BURG, G. M. **Semeabilidade, Coinoculação e relação causa e efeito na Cultura da Soja**. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: 2021.
- CORTEZ, J. W. et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.502-510, 2006.
- COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rate but not at high thinning rates. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1238-1243, 2010.
- FERREIRA, L. L. et al. Cause and effect estimates on corn yield as a function of tractor planting speed. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.41 p.1-7, 2019.
- FURLANI, C. E. A. et al. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja (*Glycine max*). **Engenharia na Agricultura**, v.18, p.227-233, 2010.
- GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N.; CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente na produtividade do amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 547-552, 2008.
- JASPER, R. et al. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.292-299, 2006.
- JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPCÃO, P. S. M; ROCIL, J; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.

- KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.
- MACHADO, T. M. e REYNALDO, É. F. Avaliação de diferentes semeadoras e mecanismos dosadores de sementes em relação à velocidade de deslocamento. **Energia na Agricultura**, v.32, p.12-16, 2017.
- MODOLO, A.J.; FERNANDES, A.C.; SCHAEFER, C.E. G.;SILVEIRA, J.C.M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantiodireto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.4,p.1259-1265, 2008.
- PEREIRA, W.A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D. C. F. S. Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science**, v.35, p.316-322, 2013.
- PINHEIRO NETO, R. et al. Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.611-617, 2008.
- SANTOS, T.D. et al. Initial development of soybean plants and sowing quality as a function of speed of the seeder displacement and soil texture. Applied Research & Agrotechnology. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.
- TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

DESSECAÇÃO E ANTECIPAÇÃO NA COLHEITA DA SOJA: IMPACTO SOBRE A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE

Claudir José Basso¹ e Marlo Adriano Bison Pinto²

¹ Instituto Federal Farroupilha Campus Santo Augusto, Rua Fábio João Andolhe, 1100 - CEP 98590-000 - Santo Augusto, Rio Grande do Sul. E-mail: marlo.pinto@iffarroupilha.edu.br

² Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais - Universidade Federal de Santa Maria - Campus de Frederico Westphalen, Linha 7 de setembro, s/n Br 386 Km 40 RS. CEP: 98400-000 Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul. E-mail: claudirbasso@gmail.com

Introdução

No contexto nacional a soja está inserida como um dos principais produtos econômicos agrícolas sendo a principal cultura cultivada em extensão de área e volume de produção. Levando em consideração a evolução da área, produtividade e produção da soja ao longo dos últimos 40 anos (safra 1976/77 até 2015/16), a produção brasileira cresceu 8 vezes evoluindo de 12 milhões em 1976/77 para 95 milhões de toneladas em 2015/16. Em 40 anos ocorreu com a soja no Brasil uma forte expansão na área cultivada não sendo o mesmo comportamento observado com a produtividade de grãos. Enquanto a área cultivada de 7 milhões de hectares em 1976/77 essa evoluiu para 33 milhões de hectares na safra 2015/16 a produtividade avançou de 1,7 Mg ha⁻¹ em 1976/77 para 2,8 Mg ha⁻¹ na safra 2015/16 (CONAB, 2017).

Quando se busca altos tetos produtivos, é essencial o uso de semente de alta qualidade, isso por que, sementes de baixo vigor podem provocar reduções na velocidade e na emergência total de plantas, afetar o estabelecimento da cultura, seu desempenho ao longo do ciclo e a produtividade final de grãos (PESKE et al., 2012).

Durante o processo de formação das sementes, a máxima qualidade é observada na maturidade fisiológica (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). No entanto, a colheita

mecânica nesse momento é inviabilizada devido ao alto teor de umidade (MARCOS FILHO, 2005). A antecipação da colheita com a utilização de dessecantes é uma prática que visa à obtenção de sementes com alta qualidade, reduzindo sua exposição às condições climáticas adversas que pode ocorrer no campo após esse estágio (CELLA et al., 2014). No entanto, dessecantes aplicados antes da maturidade fisiológica tendem a ocasionar má formação das sementes, com a ocorrência de sementes esverdeadas, além de reduzir a produtividade e afetar negativamente a germinação e vigor destas estruturas (TOLEDO et al., 2012; LAMEGO et al., 2013).

Dessecação química da soja

A dessecação química da soja como ferramenta para antecipação da colheita tem sido utilizada em muitas regiões de produção dessa oleaginosas e dois são os principais fatores para a utilização dessa prática por parte dos produtores. Uma delas em regiões de produção de sementes onde essa dessecação e conseqüentemente a antecipação da colheita permite a obtenção de sementes de melhor qualidade (TERASAWA et al., 2009) pela redução dos riscos de deterioração das sementes no campo após sua maturação fisiológica, além de permitir um melhor planejamento da rotação de cultura e otimizar a recepção, secagem e beneficiamento de sementes (VEIGA et al., 2007).

Em outras regiões do Brasil, e conforme colocado por INOUE et al., (2012), a dessecação química da soja e a colheita antecipada tem como objetivo principal a antecipação da semeadura de uma segunda safra como é o caso do algodão e do milho segunda safra em algumas regiões do Brasil.

As condições ambientais no campo após a maturação fisiológica das sementes associada ao momento de colheita, tem sido apontado como os principais fatores que podem afetar a qualidade fisiológica das sementes de soja. Após atingir a maturação fisiológica onde se tem o máximo acúmulo de matéria seca, germinação e vigor

(CARVALHO & NAKAGAWA, 2012), de uma maneira geral é possível afirmar que a qualidade fisiológica da semente decresce em função da temperatura e umidade do ar que essas ficam expostas no campo até serem colhidas (GARCIA et al., 2004). De modo geral, o atraso da colheita associado ao aumento do percentual de rachaduras do tegumento e à variação da umidade relativa do ar, acarreta vários prejuízos às sementes, como o aumento do processo de deterioração em virtude da maior facilidade de penetração dos patógenos e maior exposição do tecido embrionário ao ambiente (MARCANDALLI et al., 2011).

A dessecação química tem sido apontada e adotada por muitos produtores como uma das formas de se minimizar perdas na qualidade das sementes no campo com a antecipação da colheita. Essa prática na utilização de desseccantes como ferramenta para antecipação da colheita tem sido observada para várias culturas, entre elas feijão e soja (LACERDA et al., 2005, PELÚZIO et al., 2008, KAPPES et al., 2009, DALTRO et al., 2010, MARCANDALLI et al. 2011, BULOW; SILVA, 2012, KAPPES et al., 2012; PINTO et al., 2014). A dessecação antecipada traz algumas vantagens entre elas: redução da umidade, uniformidade da maturação e principalmente, na preservação da qualidade fisiológica das sementes pelo fato dessas não ficarem expostas às intempéries e flutuações de umidade, minimizando os danos irreversíveis por esse fator (LACERDA et al., 2003, PELÚZIO et al., 2008, KAPPES et al., 2009).

Herbicidas derivados da amônia quaternária pertencente ao grupo dos bipyridílicos como o diquat e o paraquat estão entre os mais utilizados para essa prática sendo o paraquat um dos mais utilizados para a dessecação da soja buscando antecipação da colheita. O paraquat é um herbicida não seletivo com reduzida translocação na planta (de contato) e de baixa persistência no solo, sendo usado para controle total da vegetação (Vargas & Roman 2006). Além desses citados anteriormente, a nível de campo pode-se observar também a utilização de

dessecante a base de glufosinato de amônia e glifosato porém, com resultados contestáveis quando a lavoura se destina a produção de sementes (INOUE et al., 2003, DALTRO et al., 2010, MARCANDALLI et al., 2011).

Qualidade fisiológica de semente e produtividade

A partir da fertilização do óvulo, uma série de alterações morfológicas, fisiológicas e funcionais levará a maturação das sementes de uma planta prosseguindo até o momento de serem colhidas (Delouche, 1971). Durante todo o processo que envolve a formação e maturação das sementes, se pode observar alterações na matéria seca, no grau de umidade, no tamanho, na germinação e vigor, atingindo a maior qualidade fisiológica essas sementes no estágio denominado maturidade fisiológica (Carvalho & Nakagawa, 2000), mais especificamente na soja, no estágio R7 (Fehr & Caviness, 1977). A partir da maturação fisiológica, a semente não depende mais da planta e passa a sofrer maior influência das condições ambientais (Marcos Filho, 1986) podendo-se dizer que essa está armazenada no campo, enquanto a colheita não é processada (Costa et al., 1983). Após a maturação fisiológica das sementes, pode-se afirmar que sua qualidade decresce variando em função das condições climáticas, principalmente devido ao fator temperatura e da umidade relativa do ambiente em que essas sementes ficam expostas, até o momento da colheita (Garcia et al., 2004). Nesse sentido, toda estratégia de manejo como objetivo de preservar a qualidade fisiológica das sementes são benéficas como a antecipação da colheita, tendo como uma das alternativas a utilização de herbicidas dessecantes DALTRO et al., (2010), permitindo rápida perda de água dessas possibilitando a colheita (LACERDA et al., 2001).

Avaliando a dessecação na pré-colheita e seu efeito sobre a produtividade e a qualidade fisiológica de sementes de soja, Lamego et al., (2013) observaram que a aplicação de paraquat, nos estádios R6 e R7.1,

provocou redução acentuada na produtividade de grãos sendo essa e no comparativo a testemunha de 35 e 13%, respectivamente, não sendo observado o mesmo na dessecação realizada a partir do estágio R7.3 (tabela 1). Quanto à qualidade fisiológica das sementes oriundas de plantas com dessecação nos estádios R6 e R7.1 essas apresentam percentual superior e maior velocidade de germinação, entretanto, as sementes de plantas com dessecação no estágio R6 possuíam menor vigor de plântulas.

Tabela 1. Produtividade de grãos, peso de mil sementes (PMS) e teste de germinação (TG) de soja, sob efeito da aplicação de dessecante paraquat (240 g i.a. ha⁻¹), em diferentes estádios na pré-colheita da soja, cv. Energia RR. Jaboticaba, RS, e UFSM, Campus de Frederico Westphalen, RS, 2010/11. Fonte: (Lamego et al., 2013).

Épocas de dessecação	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)		PMS (g)	
Test ¹	4.221	A ³	172,07	A
R7.3	4.076	A	167,46	A
R7.1	3.668	B	152,40	B
R6.0	2.751	C	114,37	C
Cv ² - %	7,01		4,48	

¹ Sem aplicação de dessecante. 2/ Coeficiente de variação. 3/ Médias seguidas de letras idênticas, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Nessa mesma linha de estudo, Pelúzzio (2008) e Lacerda (2001) também observaram reduções significativas na produtividade quando a dessecação foi realizada no estágio R6. Essa redução significativa na produtividade com dessecação nesse estágio (R6) se deve ao fato da planta ainda estar translocando fotoassimilados para a semente e que com a dessecação, isso deixa de ocorrer e como consequência decréscimo na produtividade (Pelúzzio 2008). Avaliando quatro estádios de dessecação da soja R7.1, R7.2, R7.3 e R8.1, Basso et al., (2016) observaram que a aplicação do paraquat nos estádios R7.1 e R7.2 reduziu significativamente a produtividade de grãos da soja em 7,2% e 6,3% em relação a testemu-

nha, respectivamente, não sendo observado o mesmo para os outros dois estádios de dessecação (tabela 2).

Tabela 2. Massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos de soja (FPS Urano RR) pela aplicação de paraquat (400 g.I ha⁻¹) em diferentes estádios. Fonte (Basso et al., 2016).

Estádios de dessecação	MMG (g)	Produtividade de Grãos (kg ha ⁻¹)
R7.1	138,10 c ³	4.169,88 b
R7.2	140,17 bc	4.211,82 b
R7.3	141,97 bc	4.241,22 ab
R8.1	144,57 ab	4.407,24 ab
Controle ¹	148,07 a	4.495,02 a
Cv ² - %	1,69	2,77

¹ Sem aplicação de dessecante, ² coeficiente de variação, ³ médias seguidas de letras diferentes diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Avaliando a qualidade da semente armazenada após aplicação de glifosato na pré-colheita da soja, Toledo et al. (2014), observaram efeitos deletérios da aplicação de glifosato utilizado como dessecante no estádio R.7 como estratégia para antecipação da colheita de sementes de soja de cultivares convencionais. Para os autores, a aceleração da senescência das plantas resulta na produção de sementes com menor germinação e reduzido desenvolvimento de plântulas mesmo os resultados mostrando uma reduzida porcentagem de plântulas anormais após 8 meses de armazenamento dessas sementes. No trabalho de Guimarães et al. (2012) a dessecação da soja na pré-colheita com os herbicidas glufosinato de amônio, paraquat e glyphosate em diferentes estádios fenológicos (R6, R7.2 e R8.1) não afetou a produtividade de sementes. Porém quando se compara a qualidade das sementes, os autores observaram que o herbicida paraquat promoveu os melhores índices de germinação e vigor aplicado nos estádios R6 e R7.2, diferentemente do glyphosate que reduziu o vigor de sementes.

Estudando a dessecação química para antecipar a colheita em cultivares da soja, Pereira et al. (2015)

observaram que essa prática com o uso de glufosinato de amônio e paraquat aplicados no estágio R7.1 permitiu antecipar a colheita em seis dias e proporcionou a manutenção do percentual de germinação (90% e 92%) em comparação a testemunha (76%), sem impactar negativamente na produtividade de sementes. Segundo os autores, essa manutenção da produtividade de sementes, demonstra que a partir do estágio R7.1 (maturidade fisiológica) as sementes já acumularam quantidades consideráveis de matéria seca que mantem a produtividade.

Momento da dessecação

A dessecação como estratégia de manejo na pré colheita da soja, tem como objetivo promover uma rápida secagem das plantas e melhorar a uniformidade de maturação podendo assim, antecipar a colheita (INOUE et al., 2003). Na dessecação pré-colheita da soja, para se ter êxito é necessário estudar as respostas das cultivares para a condição de clima da região específica de produção, e também, sua relação com o tipo de dessecante, estágio de aplicação, o que podem influenciar diretamente na eficiência de ação do produto e indiretamente sobre os aspectos de produtividade e qualidade de sementes produzidas. Por isso, a tomada de decisão quanto ao momento mais adequado para aplicação do dessecante é o ponto principal da operação de dessecação na pré-colheita. Quando aplicado muito antecipadamente pode afetar negativamente a produtividade da soja e interferir negativamente na germinação e no vigor das sementes colhidas. Por outro lado, se essa dessecação for realizada muito tarde essa prática não levará a antecipação da colheita, frustrando o objetivo principal da operação.

Quando os dessecantes foram aplicados nos estádios mais próximos da maturação fisiológica, houve aumento na porcentagem de plântulas normais e redução nas plântulas anormais e mortas (Gomes 1982). Trabalhando três épocas de aplicação do paraquat, Whigham e

Stoller (1979), verificaram que quando esse foi aplicado quatro a três semanas antes da colheita, esse herbicida de contato não prejudicou a germinação e vigor das sementes. Trabalhando também com paraquat, Costa et al. (2003) observaram pequena superioridade no vigor das sementes dessecadas no estágio R7.5 e atribuíram esta diferença às condições climáticas em que as sementes da colheita normal ficaram submetidas durante sua permanência no campo. Já, Marcandalli et al. (2011) avaliaram dessecantes em diferentes estádios reprodutivos da soja (R6, R7 e R8) e concluíram que, sementes obtidas com a aplicação de dessecantes no estágio R6 são de qualidade fisiológica inferior às obtidas com aplicação nos demais estádios.

A qualidade fisiológica das sementes de soja não foi influenciada com dessecação a partir do estágio R7.1 no comparativo com a testemunha (sem dessecação) (Basso et al., 2016), onde os autores estudaram a dessecação nos estádios R7.1, R7.2, R7.3 e R8. Embora não houve diferença significativa na primeira contagem de germinação (PCG) para os diferentes estádios de aplicação do paraquat, a maior porcentagem de germinação na primeira contagem foi observada com aplicação do paraquat no estágio R7.3 e que vai de encontro aos resultados apresentados por KAPPES et al., (2009), onde ao avaliarem aplicações de dessecantes, observaram que essas quando realizadas nos estádios R6, R7.1 e R7.2 provocam prejuízos significativos para a germinação das sementes no comparativo a testemunha.

Considerações finais

De maneira geral, fica evidente na literatura que a prática da dessecação na pré colheita da soja é uma estratégia interessante buscando antecipar ao redor de 7 dias a colheita. Quando o foco é a produção de semente, fica claro também que a dessecação como ferramenta de antecipação da colheita melhora a qualidade fisiológica das sementes e deve ser realizada a partir do

estádio R7.3 (FEHR & CAVINNES, 1977) conforme figura 1. Outro fator importante a ser colocado e que deve ser observado pelos produtores é a capacidade operacional de colheita de cada unidade de produções, isso por que, eventos de chuva após a dessecação, reduz o peso de mil sementes podendo impactar negativamente na produtividade além do aumento no percentual de grãos ardidos. Por isso que a dessecação na pré-colheita da soja deve ser uma prática bem planejada com atenção as condições climáticas e realizada de uma forma escalonada e de acordo a capacidade de colheita. E para finalizar, mesmo muitos estudos não mostrando redução significativa na produtividade final de grãos de soja com dessecação a partir de R7.3 fica claro como no trabalho de Basso et al. (2016) que numericamente essa prática reduz produtividade.



Figura 1. Estádio R7.3 da soja (mais de 76% de folhas e vagens amarelas), onde se recomenda a prática da dessecação de pré-colheita.

Referências

- BASSO, C. J.; SILVA, A. N.; MURARO, D. S.; SILVA, D. R. O.; AGUIAR, A. C. M.; KULCZYNSKI, S. Herbicide application timing in pre harvest desiccation of soybean: Impacto in grain yield and physiological quality of seeds. **International Journal of Current Research**, v. 8, n.9, p.37613-37616, 2016
- BULOW, R. L.; SILVA, C. T. A. C. Dessecantes aplicados na pré-colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 1, n. 1, p. 67-75, 2012.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- COSTA, N. P. et al. Antecipação de colheita de sementes de soja através do uso de dessecantes. **R. Bras. Sementes**, v. 5, n. 3, p. 183-198, 1983.
- DALTRO, E. M. F.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; FRANÇA-NETO, J. B.; GUIMARÃES, S. C.; GAZZIERO, D. L. P.; HENNING, A. A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: Efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.1, p.111-122, 2010.
- DELOUCHE, J. C. **Seed maturation**. In: HANDBOOK of seed technology. Mississippi: Mississippi State University, 1971. p. 17-21.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa Agricultural Experimental Station, 1977. 11 p. (Special Report, 80)
- GARCIA, D. C.; BARROS, A. S. A.; TEICHERT, S.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.
- GOMES, J.L.L. Efeito da aplicação de gramoxone e do reglone sobre a incidência de patógenos nas sementes de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 15, 1982, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1982.

- GUIMARÃES, V. F.; HOLLMANN, M. J.; FIOREZE, S. L.; ECHER, M. M.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; ANDREOTTI, M. Produtividade e qualidade de sementes de soja em função de estádios de dessecação e herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 567-573, 2012.
- INOUE, I. H.; PEREIRA, P. S. X.; MENDES, K. F.; BEN, R. DALLACORT, R.; MAINARDI, J. T.; ARAÚJO, D. V.; CONCIANI, P.A. Determinação do estágio de dessecação em soja de hábito de crescimento indeterminado no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p. 71-83, 2012.
- INOUE, M. H.; JÚNIOR, O. M.; BRACCINI, A. L.; JÚNIOR, R. S. O.; ÁVILA, M. R.; CONSTANTIN, J. Rendimento de grãos e qualidade de sementes de soja após a aplicação de herbicidas dessecantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 769-770, 2003.
- KAPPES, C.; ARF, O.; FERREIRA, J. P.; PORTUGAL, J. R.; ALCALDE, A. M.; ARF, M. V.; VILELA, R. G. Qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de feijoeiro, em função de aplicações de paraquat em pré-colheita. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 9-18, 2012.
- KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M. Potencial fisiológico de sementes de soja dessecadas com diquat e paraquat. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 1, p. 1-6, 2009.
- LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Armazenamento de sementes de soja dessecadas e avaliação da qualidade fisiológica, bioquímica e sanitária. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 2, p. 97-105, 2003.
- LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; WALTER FILHO, V. V. Aplicação de dessecantes na cultura da soja: antecipação da colheita e produção de sementes. **Planta Daninha**, v.19, n. 3, p.381-390, 2001.
- LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; WALTER FILHO, V. V. Efeitos da dessecação de plantas de soja no potencial fisiológico e sanitário das sementes. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 447-457, 2005.

- LAMEGO, F. P.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; KULCZYNSKI, S. M.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T. E.; SANTI, A. L. Dessecação pré-colheita e efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica de semente de soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.31, n.4, p.929-938, 2013.
- MARCANDALLI, L.H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I.C. Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n .2, p. 241-250, 2011.
- PELÚZIO, J. M.; RAMO, L.N.; FIDELIS, R.R; AFFÉRI, F.S.; CASTRO NETO, M.D.; CORREIA, M.A.R. Influência da dessecação química e retardamento de colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja no Sul do Estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 2, p. 77-82, 2008.
- PEREIRA, T; COLEHO, C. M. M; SOUZA, C. A.; MANTOVANI, A.; MATHIAS, V. Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2383-2394, 2015.
- PINTO, M. A. B.; BASSO, C J.; KULCZYNSKI, S.; BELLE, C. Productivity and physiological quality of seeds with burn down herbicides at the pre harvest of bean crops. **Journal of Seed Science**, v.36, n.4, p.384-391, 2014
- TOLEDO, M. Z; ISHIZUKA, M. S.; CAVARIANI C.; NETO-FRANÇA, J. de B.; PICOLI, L.B. Pre-harvest desiccation with glyphosate and quality of stored soybean seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 765-774, 2014.
- VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**: conceitos, origem e evolução. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 22 p. (Embrapa Trigo Documentos Online 58). Disponível em: <[http:// www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.htm)>. Acesso em: 17 març. 2020.
- VEIGA, A. D.; ROSA, S. D. V. F.; SILVA P. A.; OLIVEIRA, J. A.; ALVIM, P. O.; DINIZ, K. A. Tolerância de sementes de soja à dessecação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31 n. 3, p. 773-780, 2007.

MAXIMIZANDO A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Elmar Luiz Floss¹ e Luiz Gustavo Floss²

¹ Engenheiro agrônomo, licenciado em Ciências, doutor, consultor, ex. professor da UPF, professor e diretor do Instituto Incia. E-mail: elmar@incia.com.br

² Engenheiro agrônomo, mestre, consultor, diretor do Grupo Floss. E-mail: luiz.gustavo@grupofloss.com

Introdução

O aumento crescente do rendimento de grãos de soja no Brasil, deve-se às diferentes revoluções tecnológicas implementadas nos últimos 50-60 anos, como a calagem, a adoção do sistema plantio direto na palha, o uso de cultivares transgênicos, a adubação equilibrada (macro e micronutrientes), a maior eficiência no controle de plantas daninhas, pragas e moléstias, o advento do uso das ferramentas da agricultura de precisão, uso de bioestimulantes, e a interação entre esses fatores. Uma lavoura de soja de alta produtividade apresenta uma população ideal de plantas produtivas e pela eficiência fisiológica das plantas, resultado da interação de mais de 50 fatores.

Fatores essenciais para altos rendimentos

De forma genérica, o aumento do potencial de rendimento e da qualidade do produto colhido depende de fatores promotores da produção e dos fatores mantenedores da produção. Os fatores promotores da produção são os mais importantes, envolvem a adoção de tecnologias como a escolha do melhor cultivar, da qualidade das sementes, da adequada implantação da cultura, da adubação e da correção correta do solo, da irrigação, da rotação de culturas, da utilização do sistema de semeadura direta na palha, dentre outras práticas. Os fatores mantenedores da produção têm como função, evitar as perdas do potencial de rendimento determinado pelos fatores promotores, como o controle adequado das moléstias, das pragas e das plantas daninhas.

O aumento da produtividade (biomassa total) e do rendimento (produto econômico) da cultura de soja, é o resultado de um conjunto de fatores, como: a) adequadas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; b) nutrição equilibrada; c) escolha do melhor cultivar; d) qualidade de sementes e semeadura; e) sanidade; e, f) minimização dos estresses abióticos.

Adequadas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos

O solo é o maior patrimônio do produtor, a base da produção vegetal, cuja qualidade depende das propriedades físicas, químicas e biológicas. Uma das mais importantes propriedades dos solos é a física, especialmente, a permeabilidade/porosidade, que influi na disponibilidade de água, ar e nutrientes, e no crescimento radicular. A compactação do solo reduz o espaço poroso (especialmente os macroporos), limitando a penetração das raízes e a infiltração e, o armazenamento de água e de ar. As causas principais da compactação são o tráfego de máquinas agrícolas, em excesso ou de forma inadequada, o pisoteio excessivo pelos animais (na integração da lavoura-pecuária), o impacto direto da chuva sobre solos descobertos e o adensamento (migração da argila) nos solos.

Baseado em inúmeras pesquisas e evidências observadas à campo, pode-se considerar que um solo ideal deve apresentar uma densidade aparente menor que $1,25 \text{ g/cm}^3$ (ou resistência a penetração menor que 1,5 Mpa); densidade de 1,25 até $1,5 \text{ g/cm}^3$ ou 1.5 a 3 Mpa, são toleradas e podem ser rompidas pelo crescimento radicular de culturas de cobertura (descompactação biológica); densidade aparente acima de $1,5 \text{ g/cm}^3$ ou mais que 3 Mpa, é limitante e requer a descompactação mecânica, associada à biológica.

Quando diagnosticada a necessidade de escarificação (até 25 cm de profundidade) ou subsolagem (acima de 25 cm de profundidade), essa deve ser realizada após colheita do milho ou outra cultura, com palhada

abundante, evitando a erosão do solo. A descompactação logo após a colheita da soja deve ser evitada, pois essa cultura produz cada vez menos palha (cultivares de baixa estatura e super-precoces) e de relação C/N estreita, cuja rápida decomposição gera a erosão do solo. Nesse caso, deve-se colher a soja, semear imediatamente culturas de cobertura (ou fazer a sobressemeadura), de forma isolada ou consorciada, como é o caso de aveia preta, aveia branca, centeio, azevém tetraploide, ervilhacas, ervilha forrageira e nabo forrageiro (inverno) ou milheto, sorgo forrageiro, capim Sudão, braquiária, crotalarias (verão), ou ainda outras, dependendo da região. Quando essas culturas cobrirem o solo, deve ser realizada a operação mecânica, o que reduz significativamente o risco de erosão. As raízes das culturas ocuparão o espaço poroso, garantindo uma descompactação mais duradoura, gerando bioporos após a decomposição, preferencialmente, utilizados pelas raízes da soja, cultivada em sucessão.

Quanto às propriedades químicas do solo, visando a altos rendimentos da soja, o manejo deve buscar um pH entre 6,0 e 6,5, o aumento crescente dos teores de matéria orgânica (fundamental na agregação do solo, aumento da CTC, retenção de água, atividade microbiana e a disponibilização de nutrientes), a saturação de bases (Ca + Mg + K) acima de 70% da capacidade de troca de cátions (CTC), a alta disponibilidade de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), o equilíbrio de bases (50-60% da CTC ocupada pela Ca, 15-20% pela Mg e 3-5% pelo K), e a neutralização do alumínio tóxico. A melhoria das propriedades químicas do solo, visando a altos rendimentos, deve atingir um perfil de 0-40 cm de profundidade. Para atingir esse objetivo, são fundamentais a calagem, a gessagem, a adubação racional e a produção permanente de biomassa, seguindo o princípio "colher/semear/colher".

As propriedades biológicas mais importantes são o aumento de bactérias fixadoras de nitrogênio (ex. *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*), liberadores

de fósforo, mediante a síntese de fosfatases (ex. *Micorizas*, *Baccillus*), controle biológico de pragas (*Baccillus*, *Pocconia*, *Beauveria*), controle de patógenos (ex. *Trico-derma*, *Baccillus*), além de outros microrganismos como as nitrobactérias, sulfobactérias, dentre outros. Um solo fértil é um solo vivo. A presença do material orgânico no solo é determinante da atividade dos microrganismos, bem como no seu montante populacional, uma vez que a matéria orgânica é, antes de mais nada, fonte de energia para os organismos do solo. A bioanálise do solo (DNA e enzimas como *fosfatases*, *arilsulfatases* e *beta-glicosidasas*) é ferramenta promissora no diagnósticos das propriedades dos solos.

Nutrição equilibrada

Com o aumento do rendimento das culturas, a *necessidade de nutrientes* é maior, enquanto o ciclo das culturas reduziu nos últimos anos, o que exige uma absorção maior em menos tempo. A adubação racional é a diferença entre a necessidade da cultura (extração/exportação) e a disponibilidade dos nutrientes no solo, multiplicada pelo fator de eficiência de cada nutriente ou fertilizante. Caso os teores dos nutrientes no solo forem muito altos, a quantidade de nutriente aplicada deve ser igual à exportação. Em qualquer nível abaixo, a quantidade será equivalente à extração. Uma adubação eficiente objetiva conseguir um *equilíbrio nutricional* na planta, que garanta um adequado crescimento de raízes, parte aérea e, especialmente, a maior formação de grãos. O diagnóstico da *disponibilidade de nutrientes* no solo deve ser realizado por intermédio da análise do mesmo, complementada com uma análise foliar.

Os teores de nutrientes na biomassa das culturas variam entre cultivares, dependendo das condições de solo, da disponibilidade de água e oxigênio no solo, dos fatores climáticos, do órgão da planta e do estágio de desenvolvimento. A *extração* é a quantidade total de nutrientes acumulada nos grãos e na palha enquanto a

exportação (índice de colheita de nutrientes) é a quantidade de nutrientes acumulados nos grãos, exportados da lavoura e não reciclados. Através da Tabela 1, baseada em Pauletti, 2004; Embrapa, 2013; Bender; Haegele; Below, 2015; Bataglia; Mascarenhas, 1977; L.G. Floss, 2017; Yamada, 1999, verifica-se que o nitrogênio (N) é o macronutriente mais extraído pela soja para produção de uma tonelada de grãos ($79,4 \text{ kgN.t}^{-1}$), seguido pelo potássio ($46,1 \text{ kg K}_2\text{O.t}^{-1}$), cálcio ($18,5 \text{ kgCa.t}^{-1}$), enxofre ($16,8 \text{ kgSO}_4^{-2}.\text{t}^{-1}$), fósforo ($15,2 \text{ kgP}_2\text{O}_5.\text{t}^{-1}$) e magnésio ($9,7 \text{ kgMg.t}^{-1}$). Na mesma Tabela 1, foi estimada a extração de macronutrientes para um rendimento de 5 t.ha^{-1} , expresso em kg.ha^{-1} . Observa-se, na Tabela 1, a estimativa de exportação de macronutrientes para um rendimento de 5 t.ha^{-1} , expresso em kg.ha^{-1} .

Tabela 1. Extração e exportação de macronutrientes pela cultura da soja

Macronutrientes	Extração (kg.t^{-1})	Exportação (índice de colheita) ($\text{kg.t}^{-1}\text{e } \%$)	Extração para rendimento de 5t. ha (kg.ha^{-1})	Exportação para rendimento de 5 t. ha (kg.ha^{-1})
Nitrogênio	79,4	58,6 (73,8)	397	293
Fósforo (P_2O_5)	15,2	11,8 (77,6)	76	59
Potássio (K_2O)	46,1	22,2 (48,1)	230,5	111
Cálcio	18,5	2,9 (15,6)	92,5	14,5
Magnésio	9,7	2,4 (24,7)	48,5	12
Enxofre (SO_4^{-2})	16,8	8,0 (47,6)	84	40

Fonte: médias calculadas a partir de Pauletti, 2004; Embrapa, 2013; Bender; Haegele; Below, 2015; Bataglia; Mascarenhas, 1977; L.G. Floss, 2017.

A melhor correlação entre teores de nutrientes e o rendimento é a análise das folhas indicadoras (folhas trifolioladas do terceiro nó), nos estádios R1/R2. Segundo Tanaka; Mascarenhas (1992), são considerados suficientes ou adequados os teores (g.kg^{-1}) de macro-

nutrientes de: 40,1-55 de N, 2,6-5 de P, 17,1-25 de K, 3,6-20 de Ca, 2,6-10 de Mg e 2,1-4 de S.

Na medida em que aumenta o rendimento da soja, além dos macronutrientes, também merecem atenção os micronutrientes, os quais são tão essenciais quanto aqueles, mesmo sendo extraídos e exportados em menores quantidades (g.t^{-1} ou g.ha^{-1}). Na medida em que o rendimento da soja aumenta, como resultado da genética e das modernas práticas de manejo da cultura, têm sido observadas com maior frequência respostas à aplicação de micronutrientes, via solo, semente ou foliar bem como o aparecimento de sintomas de deficiência. No diagnóstico da deficiência de micronutrientes, vários fatores devem ser considerados, tais como: a) os maiores potenciais de rendimento; b) indisponibilização pelo excesso de calcário em superfície (pH superior a 6,4); c) o efeito inibidor temporário do glifosato; d) inibição da absorção de zinco devido a doses elevadas de fósforo na linha; e) a deficiência hídrica; f) a melhoria da qualidade dos fertilizantes foliares (quelatos e coadjuvantes); g) alta dose de magnésio que inibe absorção de manganês; e, h) efeito de micronutrientes na sanidade das plantas (ex. cobalto, manganês, cobre, zinco e boro).

Com altos rendimentos, também ocorrem maiores extração e exportação de micronutrientes pela cultura da soja. Na média de vários autores (Pauletti, 2004; Embrapa, 2013; Bender; Haegele; Below, 2015; Bataglia; Mascarenhas, 1977; L.G. Floss, 2017; Yamada, 1999), verifica-se que o micronutriente mais extraído é o ferro ($303,5 \text{ g Fe.t}^{-1}$), seguido do manganês ($162,3 \text{ g Mn.t}^{-1}$), boro ($80,0 \text{ g B.t}^{-1}$), zinco ($74,4 \text{ g Zn.t}^{-1}$), cobre ($21,6 \text{ g Cu.t}^{-1}$), e, por último do molibdênio ($5,3 \text{ g Mo.t}^{-1}$), conforme Tabela 2.

Na mesma Tabela 2, é apresentada a estimativa de extração de micronutrientes numa lavoura de soja, com rendimento de 5 t.ha^{-1} , expresso em g.ha^{-1} . Quanto à exportação de micronutrientes pela soja, nas médias calculadas a partir de resultados obtidos por vários autores (Pauletti, 2004; Embrapa, 2013; Bender; Haege-

le; Below, 2015; Flannery, 1989; Yamada, 1999; L.G. Floss, 2017, apresentadas na Tabela 2, observa-se que o micronutriente mais exportado é o Fe (103,6 g.t⁻¹), seguido do Zn (39,8 g.t⁻¹), Mn (31,4 g.t⁻¹), B (28,6 g.t⁻¹), Cu (11,4 g.t⁻¹) e Mo (3,9 g.t⁻¹). Tomando essas médias por base, foi estimada a exportação de micronutrientes para um rendimento de 5 t.ha⁻¹ (Tabela 2), expresso em g.ha⁻¹.

Tabela 2. Extração e exportação de micronutrientes pela cultura da soja

Micronutrientes	Extração (g.t ⁻¹)	Exportação (índice de colheita) (g.t ⁻¹ e %)	Extração para rendimento de 5 t. ha (g.ha ⁻¹)	Exportação para rendimento de 5 t. ha (g.ha ⁻¹)
Boro	80,0	28,6 (35,7)	400	143
Cobre	21,6	11,4 (52,7)	108	57
Ferro	303,5	103,6 (34,1)	1.517,5	518
Manganês	162,3	31,4 (19,3)	811,5	157
Molibdênio	5,3	3,9 (73,6)	26,5	19,5
Zinco	74,4	39,8 (53,5)	372	199

Fonte: médias calculadas a partir de Pauletti, 2004; Embrapa, 2013; Bender; Haegele; Below, 2015; Bataglia; Mascarenhas, 1977; L.G. Floss, 2017.

Para micronutrientes, são considerados suficientes os teores (mg.kg⁻¹): 21-51 de B, 10-40 de Cu, 51-350 de Fe, 21-100 de Mn, 1 -5 de Mo e 21-50 de Zn, na análise de folhas indicadoras (terceiro trifólio), amostrado no estádio R1 ou R2 (Tanaka; Mascarenhas, 1992). No entanto, uma planta somente é nutrida adequadamente, com macro e micronutrientes, se houver disponibilidade de água no solo. Sem água no solo, não há solubilização dos corretivos e fertilizantes, crescimento de raízes, mobilidade de nutrientes no solo (fluxo de massa e difusão), transporte dos nutrientes da raiz para a folha

(movimento apoplástico), redistribuição dos nutrientes móveis (movimento simplástico) e assimilação dos nutrientes nas folhas, pois as reações bioquímicas somente ocorrem em meio aquoso.

A absorção dos nutrientes também depende da disponibilidade de oxigênio no solo, pois o principal processo de absorção é ativo, dependente da energia química (ATP), formada por meio da respiração aeróbia. Por isso, uma adequada estrutura física do solo, é de fundamental importância para obtenção de altos rendimentos.

Escolha de melhor cultivar

Cada novo cultivar desenvolvido apresenta características diferenciais, como maior potencial de rendimento, melhor qualidade do grão, adaptabilidade a cada região, resistência/tolerância a moléstias e pragas, além da tolerância a fatores abióticos, ciclo mais curto, menor estatura de plantas, folhas mais curtas e eretas (lanceoladas), resistência ao acamamento, dentre outras. É, de fundamental importância a diversificação de cultivares de diferentes ciclos, com diferentes eventos biotecnológicos, diferentes graus de resistência/tolerância a pragas e moléstias, além, da diversificação nas épocas de semeadura. Essa prática minimiza os estresses, gera maior estabilidade de produção ao longo dos anos e promove o escalonamento da colheita.

Qualidade das sementes e semeadura

A qualidade da semente é um dos fatores mais importantes para obtenção de altos rendimentos, cuja correlação é maior com o vigor do que com o poder germinativo. O vigor é um conjunto de características das sementes, que garante alto poder germinativo, uma emergência rápida e uniforme, e, a obtenção de plântulas vigorosas. Plântulas vigorosas têm maior capacidade de formar raízes, maior ramificação lateral, maior índice de área foliar (IAF), maior produção de matéria seca e maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. O vigor

das sementes de soja está diretamente ligado ao conteúdo de reservas na semente (especialmente as proteínas), pelos níveis adequados de hormônios (giberelinas, auxinas e citocininas) e altos teores de molibdênio.

Também é de fundamental importância o tratamento adequado das sementes com o melhor inseticida (em função das pragas que predominam em cada lavoura) e de fungicidas (em função da predominância de patógenos existentes no solo e dos patógenos presentes nas sementes), o que deve ser previsto mediante uma análise prévia de sanidade dessas.

A qualidade da semeadura se traduz por uma adequada distribuição das sementes, na horizontal (distribuição espacial) e na vertical (uniformidade de profundidade). Nesse sentido é de fundamental importância considerar: a) condições de solo (a semeadura da soja deve ser realizada, preferencialmente, de forma direta sobre palhada); b) dessecação antecipada (a semeadura deve ser realizada no limpo); c) momento adequado da semeadura (fotoperíodo, temperatura do solo acima de 15°C, arejamento e condições hídricas adequadas); d) adequada distribuição espacial (espaçamento x número de sementes na linha); e) profundidade de semeadura (3-4 cm); f) velocidade de semeadura (no máxima de 6 km/h).

Sanidade

Na busca de altos rendimento na cultura da soja, considerando as características dos novos cultivares (alto potencial de rendimento, precocidade, baixa estatura, menor área foliar e sistema radicular por planta) é de fundamental importância o controle rigoroso de plantas daninhas, pragas e moléstias, para evitar que uma fatia significativa da produção seja perdida. Assevera-se que mesmo que a aplicação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, seja fator *mantenedor*, não significa que seja menos importante do que os fatores *promotores*. A eficiência na busca de plantas saudias depende da adoção de

sistemas integrados de controle, mediante diagnósticos cada vez mais precisos, que envolvem práticas como a rotação de culturas/cultivares, a nutrição equilibrada, a resistência genética dos cultivares (diferentes eventos biotecnológicos), o uso de sementes com vigor, a qualidade da sementeira, a escolha dos melhores produtos, para cada situação, a rotação de diferentes princípios ativos (retardar a perda de eficiência dos produtos), melhores tecnologias de aplicação e a combinação com produtos biológicos, para controle de pragas e patógenos (*Tricoderma*, *Baccillus*, *Pocconia*, dentre outros), bem como o uso de indutores de defesas (fosfitos, ácido salicílico, aminoácidos tirosina e fenilalanina, dentre outros).

Minimização de estresses abióticos

No Brasil, a causa de estresse mais frequente são as estiagens, que causam perdas financeiras significativas em diferentes regiões e por diferentes períodos. O maior efeito negativo do estresse hídrico associado as altas temperaturas (golpes de calor) na soja, é no estágio R3 a R4, fase de pegamento de legumes, cujo período médio é de 15-20 dias. Os principais distúrbios fisiológicos observados são: a) redução da fotossíntese; b) redução da fixação biológica de nitrogênio; c) distúrbios nutricionais; d) distúrbios hormonais (redução da síntese de giberelinas, citocininas e auxinas e aumento da síntese de inibidores como etileno e ácido abscísico); e) antecipação e desuniformidade da floração; f) abortamento de flores e legumes; g) retenção foliar/caule verde; h) menor formação de sementes no legume; i) senescência antecipada de folhas; e, j) formação de grãos esverdeados.

A irrigação, é sem dúvida a principal prática para evitar as perdas de rendimento devido ao déficit hídrico. No entanto, há limitações para a implantação do sistema, por indisponibilidade de água, limitações topográficas, capacidade de investimento, falta de energia, dentre outras razões. Mas, existem várias práticas agrícolas que

podem ser utilizadas para atenuar as perdas de rendimento das culturas devido as deficiências hídricas, como:

- a) a diversificação de cultivares, de diferentes ciclos, e, de épocas de semeadura (para evitar que toda a lavoura esteja em fase reprodutiva crítica na mesma época);
- b) o uso de sementes com vigor, que promovem emergência mais rápida e uniforme, e, a formação de plântulas vigorosas que apresentam maior capacidade de enraizamento, maior tolerância às adversidades, uma maior ramificação lateral e uma maior área foliar;
- c) a qualidade da semeadura (baixa velocidade, espaçamento e densidade de sementes indicada e com uso de sulcador), solos com temperatura superior a 15°C e uma profundidade não superior a 5cm;
- d) a melhoria da estrutura física do solo para aumentar a infiltração de água da chuva e redução da evaporação, facilitar o crescimento de raízes, mediante uma produção anual de 9 a 12 t.ha⁻¹ de palha ou subsolagem/escarificação antecedendo a semeadura;
- e) o estímulo ao aumento do crescimento de raízes, para aumentar a eficiência de absorção de água, eliminando os impedimentos físicos (compactação do solo), impedimentos químicos (neutralizar o alumínio tóxico e aumentar a disponibilidade de cálcio, nitrogênio, enxofre, fósforo, boro e zinco), e, impedimentos biológicos (pragas e patógenos);
- f) a adubação equilibrada, especialmente, evitar a salinidade provocada por altas doses de potássio na linha de semeadura, relação cálcio/magnésio não menor que 3 e disponibilização de fósforo, o mais próximo das raízes;
- g) o uso de 5 kg de nitrogênio na semeadura para cada tonelada de palha de gramíneas/poaceas (trigo, aveia, cevada, centeio, triticales, milho, arroz, sorgo, milheto, braquiária) existente, para garantir um adequado crescimento da parte aérea e de raízes, até o estágio V4-V5, quando a fixação biológica atender as necessidades de N da cultura;
- h) o uso de bioativadores ou bio-reguladores ou bioestimulantes vegetais no tratamento de sementes para estimular o crescimento de raízes e, na parte aérea, para reduzir o abortamento de flores e vagens;
- i) a inoculação das sementes de soja, além do

Bradhizobium, com *Azzospirillum*, que além da fixação de nitrogênio promove aumento do enraizamento; j) o tratamento adequado das sementes com inseticidas e fungicidas, evitando perdas de raízes devido a pragas ou moléstias do solo; l) a formação de perfil mais profundo do solo, eliminando o alumínio tóxico e aumentando a disponibilidade de cálcio, além de teores adequados de nitrogênio, fósforo, zinco e boro, desde a emergência, através da calagem, gessagem e adubação racional; e, m) uso de substâncias húmicas.

Eficiência fisiológica das plantas

O desenvolvimento da soja, apresenta os estádios vegetativos (crescimento de raízes e parte aérea), formação de folhas, ramificação e nodulação, e, os estádios reprodutivos (floração, formação de legumes/vagens, formação grãos e maturação), conforme expressa a Figura 1 (Escala fenológica de Fehr; Caviness, 1977, modificada por Ritchie; Hanway; Thompson; Benson, 1977).

O estádio V0 corresponde ao momento da semeadura. Com a emergência dos cotilédones (5 a 7 dias após a semeadura), temos o estádio VE. A perda dos dois cotilédones nesse estádio ou logo após ao VE reduz o rendimento da soja entre 8 a 9% (McWilliams; Berglund; Endres, 1999). Quando estiverem completamente expandidas as folhas unifolioladas temos o estádio VC. A partir desse estádio, inicia a formação de folhas trifolioladas, correspondendo aos estádios V1 (primeiro trifólio) a Vn (último trifólio antes da floração). Do estádio V1 ao estádio V5, é formada uma folha em período entre 3 e 5 dias, e, a partir desse estádio, é formada uma nova folha a cada 2 a 3 dias (McWilliams; Berglund; Endres, 1999). Nos cultivares precoces ou super-precoces, dependendo das condições ambientais, a floração inicia nos estádios V5/V6. A partir desse estádio temos a fase reprodutiva da soja: floração (R1/R2), formação de legumes (R3/R4), formação e enchimento de grãos (R5/R6), maturação fisiológica (R7) e colheita (R8), conforme a Figura 1.

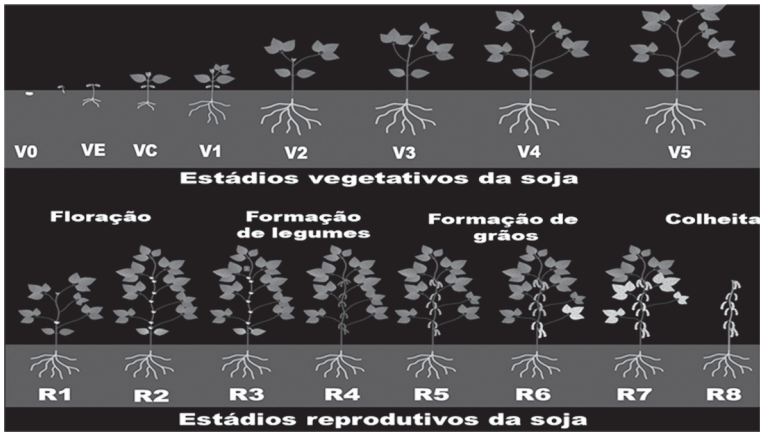


Figura 1 – Estádios fenológicos da soja.

Fonte: baseado na escala de Fehr; Caviness, 1977, modificada por Ritchie; Hanway; Thompson; Benson, 1977.

O rendimento da soja é uma função do número de plantas/unidade de área, do número de legumes/vagens por planta, do número de grãos/legume e da massa de grãos. Esse rendimento requer o funcionamento eficiente dos processos fisiológicos, da emergência até a maturação: a) germinação de semente/emergência; b) enraizamento; c) nodulação e fixação biológica de nitrogênio; d) ramificação lateral; e) relação fonte e dreno; e, f) controle fisiológico do desenvolvimento.

Germinação de sementes/emergência

A germinação da semente de soja inicia com a hidratação, de no mínimo 50% de umidade, uma temperatura superior a 15°C e oxigênio. A hidratação promove a atividade hormonal, pois as giberelinas ativam o DNA da semente, que se duplica, transcreve (formação de RNAs) e sua tradução (síntese de proteínas/enzimas). Essas proteínas são enzimas (*amilases, lípases, proteinases/proteases*) que catalisam a degradação de reservas amido, lipídios e proteínas. Essa degradação, em condições aeróbias, produz energia química (ATP), fundamental para o crescimento do embrião. Tendo energia química

disponível, o hormônio citocinina promove as divisões celulares (mitoses) das células do embrião, e, as auxinas a alongação das novas células.

Enraizamento

Cultivares cada vez mais precoces e de baixa estatura, apresentam um sistema radicular mais superficial, enquanto a necessidade de nutrientes é maior, o que exige investimentos em práticas que estimulem maior desenvolvimento radicular, especialmente em profundidade (minimizar déficit hídrico). O crescimento de raízes inicia com a formação da raiz seminal (raiz pivotante) e a formação de raízes secundárias e terciárias, principalmente nos estádios VE a V5, quando os fotoassimilados (açúcares, aminoácidos e hormônio o auxina), são preferencialmente redistribuídos para as raízes. O desenvolvimento radicular depende do uso de sementes de vigor, a qualidade da sementeira (profundidade < 5 cm), o uso de bioreguladores (citocininas e auxinas) e a eliminação de fatores limitantes físicos (compactação do solo), químicos (altos teores de Al^{+3} e baixos teores de N, Ca, P, S, B, Mn e Zn) e biológicos (pragas e patógenos) no solo. Além da absorção, as raízes, também têm, como função a fixação da planta no solo e a síntese de citocininas.

Nodulação e fixação biológica de N

Até 85% do N, a soja obtém por meio da fixação biológica do nitrogênio (FBN), realizado pelas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* nos nódulos das raízes e pelo *Azospirillum* (Urquiaga; Jantaia; Resende; Alves; Boddey, 2005). A nodulação da soja, normalmente inicia no estágio V2, 10 a 12 dias após a emergência (Hungria; Campo; Mendes, 2007). Esse N começa a atender a necessidade da cultura a partir dos estádios V4-V5. Até esses estádios, o suprimento de N provém da mineralização da matéria orgânica ou do fertilizante nitrogenado aplicado na sementeira. A inoculação adequada das sementes ou no sulco de sementeira, deve ser realizada

anualmente, com o uso de pelo menos duas doses de inoculante *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* (Hungria; Campo; Mendes, 2007) e uma dose de *Azospirillum brasilense* (Hungria, 2011), de boa qualidade e bem conservado. Mas, para que a nodulação seja efetiva, há necessidade de alta disponibilidade de molibdênio, cobalto, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e boro. Somente são ativos os nódulos com coloração rosa a avermelhada no seu interior, que se deve à leghemoglobina, dependente da cobalamina (vitamina 12), que tem como núcleo central o cobalto. Nódulos grandes (provenientes de novas estirpes), junto da raiz principal, são mais eficientes que os nódulos pequenos nas raízes secundárias e terciárias. Segundo Hungria, Campo e Mendes (2007), no estágio de florescimento, uma planta de soja bem nodulada deve apresentar de 15 a 30 nódulos ou 100 a 200 mg de nódulos secos por planta. A temperatura ideal para uma eficiente FBN é de 27-30°C (Purcell, 2004).

A fixação do nitrogênio atmosférico (N_2) é catalisada pela enzima *nitrogenase*, constituída pelo molibdênio (Mo) e o ferro (Fe), formando a amônia (NH_3). Essa amônia é assimilada, formando a amida glutamina. Na soja, essa glutamina é convertida em ureídios (ácido alantóico/alantoinas), que apresentam 4C/4 N (Schubert, 1986). Esses ureídios passam do nódulo para a raiz e, em seguida, são transportados pela água, até as folhas. Nas folhas, os ureídios são degradados, formando duas moléculas de ureia, reação que tem como cofator obrigatório o manganês (Mn). A conversão da ureia em amônia é catalisada pela enzima *urease*, que tem como cofator obrigatório o níquel (Ni). Então, finalmente, esse N será assimilado pela folha de soja, formando os mais diferentes compostos nitrogenados, como clorofila, aminoácidos/proteínas, DNA/RNA, hormônios, vitaminas, entre outros.

Aproximadamente 15% do N, a soja absorve do solo, principalmente, na forma de nitrato. Esse nitrato precisa ser reduzido na planta à amônia, reação catalisada pela enzima *nitrato redutase*, tendo como cofator o

Mo. Portanto, o Mo tem um papel chave no suprimento de N para a planta de soja, seja via FBN ou na assimilação do N absorvido do solo.

Deficiências de N na folha de soja, além de determinar uma redução no rendimento também reduz o teor de proteínas nos grãos, a principal reserva exigida pelo mercado, para uso na alimentação humana ou animal.

Ramificação lateral

Na maioria dos cultivares de soja utilizadas no Brasil, o número de legumes, principal componente de rendimento, depende da ramificação lateral. Quanto mais cedo a planta ramificar, maior o número de axilas por ramo e maior é o rendimento. As ramificações podem ser formadas nas axilas das folhas cotiledonares, unifoliolada e trifolioladas, iniciando a partir dos estádios V3 até o estádio V6 (McWilliams; Berglund; Endres, 1999; Zanon; Silva; Tagliapietra; Cera; Bexaira; Richter; Duarte Junior; Rocha; Weber; Streck, 2018). Essa indução ocorre, quando o teor do hormônio citocinina (produzida nas raízes), no nó, for maior do que a concentração de auxinas (produzidas pelas folhas). Por isso, há uma correlação positiva entre número de raízes (síntese de citocininas) e a emissão de ramificações laterais, especialmente, dos cultivares de hábito de crescimento indeterminado. Quanto mais cedo a planta ramificar, maior o número de axilas e a formação de uma planta mais arbustiva que aumenta a eficiência de uso da luz solar e de fungicidas e inseticidas, o determina um maior número de legumes no terço inferior da planta.

Relações fonte e dreno

Para que a planta expresse o seu potencial de rendimento, é necessário que ao atingir o estádio de formação de grãos, a cultura apresente pelo menos 4 a 6 metros quadrados de área foliar verde por metro quadrado de solo, denominado índice de área foliar (IAF). Na avaliação da relação entre o IAF e o rendimento de cultivares de soja (Tagliapietra; Streck; Rocha; Richter;

Silva; Cera; Guedes; Zanon, 2018), verificam que rendimentos superiores a $4,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o IAF no estágio R1, variaram entre 3 e 4 (cultivares de hábito de crescimento indeterminado) e 4 a 5 para cultivares de hábito de crescimento determinado, com valores máximos entre 6,0 e 6,5, para cultivares indeterminados e determinados, respectivamente. Avaliando dois cultivares, em duas safras, Balbinot Júnior; Ferreira; Wermer; Silva; Zucareli (2018), verificaram que a faixa de IAF no início de enchimento de grãos que maximizou a produtividade ($4,5$ a $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi $6,5$ a $7,0$.

O IAF ideal é aquele em que 95% da radiação solar incidente, ao meio dia, quando a incidência é perpendicular em relação à superfície foliar, é absorvida pelas folhas. Cultivares que apresentam folhas lanceoladas respondem a IAF maior, pois há maior eficiência na absorção da luz solar e menor autosombreamento (Purcell, 2004). Essa arquitetura também favorece a aplicação de fungicidas e inseticidas no interior do dossel, que promove um aumento do número de legumes no terço médio e inferior da planta.

Para os mesmos valores de IAF, com o aumento da duração da área foliar verde (DAF) e sadia, verifica-se um aumento na produção de grãos por área de solo. O DAF parece ter maior correlação com o rendimento de grãos durante a fase reprodutiva. A deficiência nutricional, os desequilíbrios hormonais, a incidência de moléstias e as pragas na fase de enchimento de grãos são importantes fatores que aceleram a senescência das folhas, diminuindo o DAF da soja. Isso reforça a importância do controle eficiente das moléstias e pragas nesses estádios da planta e da nutrição e o balanço hormonal equilibrado.

O rendimento das culturas também é afetado por outras características, como a eficiência fotossintética ou a taxa assimilatória líquida (TAL) nos tecidos verdes, através da fotossíntese. A taxa assimilatória líquida na soja é $20 \text{ mg CO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ no estágio de floração e de $40 \text{ mg CO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$, no estágio de enchimento de grãos (Miya-

saka; Medina, 1981). Entretanto, a produtividade é a diferença entre a taxa fotossintética, menos a respiração + a fotorrespiração. A fotorrespiração na soja representa uma perda de 42 a 75% (Zelith, 1979). Além da perda significativa de matéria vegetal, a fotorrespiração causa a formação de água oxigenada e radicais livres tóxicos para as células. A desintoxicação é realizada por meio das enzimas *peroxidase/catalase*, *ascorbato oxidases* e superóxido *dismutase*.

A taxa de transporte e distribuição de fotoassimilados (açúcares e aminoácidos) na soja é dependente da água (transporte) e do boro (libera o carregamento dos açúcares no floema), através do movimento simplástico, da folha para os grãos.

O rendimento de grãos de soja é uma função do número de grãos obtidos por unidade de área, multiplicado pela massa dos grãos. O número de grãos depende do número de legumes e do número de grãos por legume. Sem dúvida, o componente de rendimento mais importante na soja é o número de legumes por unidade de área. Por isso, todo o manejo da cultura deve ser realizado de maneira que a planta emita o maior número possível de legumes e a formação de grãos por legume. O adequado enchimento de grãos completa a expressão do potencial de rendimento.

A planta da soja produz botões florais em abundância (estádios R1/R2), mas o abortamento dos ovários é muito elevado (60 a 75%), sendo que a abscisão de legumes, recém, formados, ocorre com o avanço da floração. Portanto, o número de legumes é primariamente determinado nos primeiros estádios de desenvolvimento do legume (dentro de cinco dias após antese) (McWilliams; Berglund; Endres, 1999; Thomas; Costa, 2010). A fase de conversão das flores em legumes (estádios R3/R4) é a fase mais sensível, pois qualquer estresse biótico ou abiótico nessa fase, promove a abscisão de flores e legumes. Esse pegamento de legumes é dependente de teores adequados de citocinina (Carlson; Dyer; Cotterman; Durley, 1987) e inibido pelo etileno, sintetizado a partir do aminoácido metionina.

O número de grãos por legume é o que menos varia entre cultivares, em média, dois a três grãos por legumes e, raras vezes, quatro e cinco grãos por legume. Em cultivares com arquitetura foliar lanceolada, é frequente encontrar legumes, com 4 ou 5 grãos.

A massa de grãos é o componente de rendimento final, que varia de acordo com os cultivares, condições ambientais e manejo impostos à cultura. Fatores como deficiência hídrica, dias nublados, desfolhamento e incidência de moléstias e pragas foliares, diminuem a massa de grãos ou ambos (Thomas; Costa, 2005; Farias; Nepumoceno; Neumaier, 2007).

Controle fisiológico do desenvolvimento

Além do equilíbrio nutricional e da sanidade, o desenvolvimento pleno da soja depende do equilíbrio. Os fatores ambientais são os principais responsáveis pela mudança hormonal, que, por sua vez, determinam a expressão genética.

Os hormônios vegetais são classificados em *promotores* e *inibidores*. Os hormônios *promotores* são as auxinas, as giberelinas e as citocininas, responsáveis pela germinação, pelo crescimento de raízes e da parte aérea, por meio da divisão celular e da alongação das células, síntese de clorofila e proteínas. pela ramificação lateral, pela síntese de clorofila e pelas proteínas, floração e pegamento de legumes (Carlson; Dyer; Cotterman; Durley, 1987), promovendo o aumento do número de grãos (Nagel; Brewster; Riedell; Reese, 2001).

No entanto, qualquer estresse, biótico (incidência de pragas e moléstias) ou abióticos (déficit hídrico, calor excessivo, salinidade, raios ultravioleta, frio, deficiência de aeração no solo devido à compactação ou à saturação de água, etc.), promovem a síntese de hormônios inibidores do desenvolvimento, como o etileno, ácido abscísico e outros. Como consequência, ocorre a degradação de clorofila, o abortamento de flores e de vagens e a queda de folhas, reduzindo a taxa fotossintética e a área e duração da área foliar verde. A alta concentração

de etileno promove a expressão de genes responsáveis pela síntese da enzima *clorofilase* (degrada a clorofila), a *poligalacturonase* e *celulase* (degradam da parede celular), provocando a abscisão antecipada de folhas, flores e legumes.

Considerações finais

A maximização do rendimento da soja é o resultado da conjugação de fatores genéticos, ambientais, sanitários e de práticas agrícolas que promovam uma adequada distribuição espacial das plantas e maior eficiência dos processos fisiológicos, da emergência a maturação. Aumentar o número de grãos e a massa de grãos, de forma rentável e sustentável. O desafio é aumentar o número de legumes no terço inferior da planta, o que requer uma área foliar verde e sadia.

Referências

- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; WERMER, F.; SILVA, M. A. de A. e ; ZUCARELI, C. Índice de área foliar da soja em função da redução da densidade de semeadura, Londrina: Embrapa Soja, 2018. 18p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas: Instituto Agrônômico, 1977. (Boletim Técnico, 41).
- BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, v.107, n. 2, p. 563-573, 2015.
- CARLSON, D.R.; DYER, D.J.; COTTERMAN, C.D.; DURLEY, R.C. The physiological basis for cytokinin induced increases in pod set in soybeans. *Plant Physiology*, Rockville, v. 84, n. 2, p. 233-239, 1987.
- EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil. 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. (Sistemas de Produção, 16).

- FARIAS, J.R.B.; NEPUMOCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular Técnica, 48).
- FLANNERY, R. L. The use of maximum research in soybean production. In: MUNSON, R.D. (ed.). The physiology, biochemistry, nutrition and bioengineering of soybeans: implications for future management. Norcross: PPI/PPIC, 1989. p. 160-174.
- FLOSS, L. G. Marcha de absorção, extração e exportação de nutrientes pela cultura da soja. Relatório de pesquisa. Passo Fundo: Grupo Floss, 2017 (resultados não publicados).
- HUNGRIA, M. Inoculação com Azospirillum brasilienses: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Documentos, 325).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. A importância do processo de fixação biológica de nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Documento, 283).
- McWILLIAMS, D. A.; BERGLUND, D. R.; ENDRES, G. J. Soybean – Growth and management. Fargo: North Dakota State University, 1999, 8p. Disponível em: www.ag.ndsu.nodak.edu. Acesso em: 3 abr. 2018.
- MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Ed.). A soja no Brasil. Campinas: Ital, 1981.
- NAGEL, L.; BREWSTER, R.; RIEDELL, W. E.; REESE, R. N. Cytokinin regulation of flower and pod set in soybeans (*Glycine max* (L.) Merril.). *Annals of Botany, Company*, v. 88, p. 27-31, 2001.
- PAULETTI, V. Nutrientes: teores e interpretações. 2.ed. Castro: Fundação ABC, 2004.
- PURCELL, L. C. Physiology, nutrition and fertilization of soybeans in the United States. Department of Crop, Soil and Environmental Sciences/University of Arkansas, 2004.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G.O. How soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. (Special Report, 53).

- SCHUBERT, K.R. Products of biological nitrogen fixation in higher plants: synthesis, transport and metabolism. Annual Review of Plant Physiology, Boca Raton, n.37, p. 539-574, 1986.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Soja: nutrição, correção do solo e adubação. Campinas: Fundação Cargill, 1992. (Série Técnica, 7).
- THOMAS, A .L.; COSTA, J. A. Soja – manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010.
- TRAGLIAPIETRA, E. L.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R. da; CERA, J. C.; GUEDES, J. V. C.; ZANON, A. J. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. Agronomy Journal, Madison, v. 110, n. 3, p. 932-938, 2018.
- URQUIAGA, S.; JANTAIA, C.P.; RESENDE, A. S. de; ALVES, B. J.R.; BODDEY, R.M. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade dos sistemas agrícolas na América Latina. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. de. PROCESSOS BIOLÓGICOS NO SISTEMA SOLO-PLANTA: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa, 2005. p.181-200. (EMBRAPA. Informação Tecnológica).
- YAMADA, T. Adubação da soja para alta produtividade: implantação de programa de monitoramento nutricional. Piracicaba: Potafós. Informações Agronômicas, n. 86, junho de 1999. p.1-7.
- ZANON, A. J.; SILVA, M. R. da; TAGLIAPIETRA, E. L.; CERA, J. C.; BEXAIRA, K. P.; RICHTER, G. L.; DUARTE JUNIOR, A. J.; ROCHA, T. S. M. da.; WEBER, P. S.; STRECK, N. A. Ecofisiologia da soja visando altas produtividades. Santa Maria (s.n.), 2018.
- ZELITH, I. Photosynthesis and plant productivity. Science, 1979. p. 28-48 (Special Report).

CULTIVO DE SOJA SAFRINHA NO RIO GRANDE DO SUL

Diego Nicolau Follmann¹, Jonas André Arnemann² e Marcio Renan Weber Schorr³

¹ Eng. Agr., Dr., Prof. do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

² Eng. Agr., PhD., Prof. do Departamento de Defesa Fitossanitária da UFSM.

³ Eng. Agr., Dr., Analista da CONAB.

Introdução sobre o cultivo de soja safrinha

No presente capítulo é realizada uma abordagem sobre o cultivo de soja safrinha no estado do Rio Grande do Sul, destacando pontos positivos e negativos do cultivo, assim como possíveis estratégias de melhorias. As discussões aqui apresentadas estão longe de ser conclusivas, visto que, há pontos a serem trabalhados pela pesquisa, com a realização de experimentos que avaliem hipóteses relacionadas ao adequado manejo da soja em cultivo de "safrinha", cultivo este realizado em um ambiente diferente da soja cultivada em primeira safra.

Histórico do cultivo de soja safrinha

A adoção de cultivares precoces e a antecipação da época de semeadura na cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul, condicionaram a possibilidade do cultivo de soja em segunda safra. Em menor escala que o milho, também ocorre o cultivo de girassol em primeira safra e soja em segunda safra. O cultivo da segunda safra de verão com soja é uma iniciativa dos agricultores com o objetivo de aumentar a renda por unidade de área e é popularmente conhecida como o cultivo de "soja safrinha". O nome pode vir a ser entendido como diminutivo, no entanto, pode estar associado ao fato, que a principal safra é o primeiro cultivo.

Apesar da soja safrinha não ter a mesma importância econômica dos cultivos de primeira safra, ocorrem relatos de agricultores sobre o sucesso com o seu cultivo, atingindo produtividades superiores a 3 toneladas de grãos/ha em anos agrícolas com condições climáti-

cas favoráveis e adequado nível de investimento. Esse cultivo ocorre em regiões do estado do Rio Grande do Sul, apresentando alta frequência na região noroeste do estado em áreas que tradicionalmente cultivam milho de primeira safra (Figura 1).



Figura 1. Lavoura de soja safrinha, semeada após a colheita do milho de primeira safra. Apresenta adequado desenvolvimento vegetativo, com boa expectativa de produtividade para o sistema de cultivo, em Humaitá-RS. Fonte: FOLLMANN, D.N., 2020.

O cultivo de soja safrinha aqui no estado do Rio Grande do Sul, está longe de ser um consenso entre pesquisadores, técnicos e agricultores. Dentre as críticas está a dificuldade no manejo de pragas e doenças, associado a não existência da rotação de culturas com a cultura da soja, ou seja, mesmo com a adoção da cultura do milho no sistema produtivo, não existe o vazio de um ano agrícola sem o cultivo de soja. No entanto, destaca-se o fato que o cultivo de soja safrinha vêm aumentando por iniciativa dos agricultores, o que sugere ser uma oportunidade econômica interessante, principalmente em anos com alta nos preços de comercialização da soja, como observado nos primeiros meses do ano de 2020.

Outro ponto negativo que pode vir a ser abordado, é a semeadura predominantemente em janeiro, ou seja, fora do período de zoneamento de cultivo para o estado, dificultando o acesso a linhas de financiamentos agrícolas. Como pontos positivos, temos um auxílio a preservação do solo, pois o solo permanece por um maior período do ano com cultivo, além de aproveitar os nutrientes residuais do cultivo anterior, milho ou girasol. A cultura do milho, tem grande capacidade de ciclar nutrientes e devido ao elevado potencial produtivo é fornecido elevados níveis de adubação durante o cultivo, disponibilizando parte destes nutrientes para o cultivo de soja safrinha.

A época de semeadura tem importância para o sucesso da lavoura de soja safrinha, pois existe diferença, entre realizar a semeadura entre os dias 1º a 20 de janeiro e após esse período, visto que, em função da maioria das cultivares apresentarem dificuldade de adaptação a este ambiente de cultivo, devido a resposta ao fotoperíodo, condicionando plantas com florescimento precoces e baixa estatura de plantas. Situação que é agravada com o atraso da época de semeadura. Alguns agricultores que possuem estruturas de secagem em suas propriedades, tomam como decisão a colheita de lavouras de milho com maior umidade, para viabilizar a semeadura no início de janeiro e muitas vezes realizam a semeadura da soja logo após a colheita do milho, ou no mesmo dia, conforme observado abaixo (figura 2).



Figura 2. Prática de "colhe/semear" colheita do milho primeira safra e semeadura de "soja safrinha" em Tenente Portela, Rio Grande do Sul, em janeiro de 2013. Fonte: FOLLMANN, D.N., 2013.

Dificuldades associadas ao cultivo de soja safrinha em nível de propriedade

O sucesso do cultivo de soja em janeiro no estado do Rio Grande do Sul, apresenta particularidades em função da região de cultivo, em algumas regiões do estado esse cultivo apresenta maior adaptação. Sugerindo, a necessidade de estudos detalhados, devendo ser levado também em consideração o sistema de cultivo adotado. Em lavoura de soja, semeada após a realização de ensilagem de lavoura de milho, foi observado diminuição de população de plantas (Figura 3). Dentre os fatores que potencializaram esses danos, está o reduzido material vegetal residual da lavoura de milho com finalidade silagem, que associado a altas temperaturas do mês de janeiro, proporcionaram redução da população do dossel vegetativo, após o contato da planta ao solo com temperatura elevada na linha de semeadura, no processo de emergência.

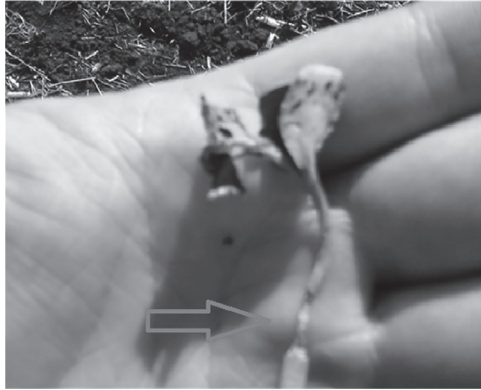


Figura 3. Danos a cultura da soja, pelo contato da plântula com o solo com temperatura elevada, durante o processo de emergência em área com reduzido material vegetal residual. Semeadura realizada após a colheita de lavoura de milho com finalidade silagem, Tenente Portela, Rio Grande do Sul, janeiro de 2013. Fonte: FOLLMANN, D.N., 2013.

O manejo da cultura da soja cultivada em primeira safra, pode interferir no manejo e na incidência de pragas e doenças nos cultivos de soja safrinha (Figura 4). Dentre as pragas que ocorrem na soja safrinha, destacam-se, em ordem de início de ocorrência no ciclo da cultura: (1) a mosca-da-haste da soja; (2) os ácaros tetraniquídeos (3) a mosca-branca, e os percevejos.



Figura 4. Área de soja safrinha (direita) ao lado de lavoura de soja primeira safra (esquerda), em Humaitá, Rio Grande do Sul, 2020. Fonte: FOLLMANN, D.N., 2020.

Nas últimas safrinhas desse ano, sojicultores gaúchos e catarinenses têm constatado a crescente presença de uma nova e silenciosa praga: a mosca-da-haste da soja, *Melanagromyza sojae*. Praga de caráter outonal, a mosca-da-haste aumenta sua ocorrência (possivelmente seja estimulada a reproduzir-se quando a duração dos dias (fotoperíodo) começa a “encurtar”); assim, embora sua ocorrência nos cultivos de safra seja esporádica e pouco impactante, o cultivo de soja safrinha proporciona a oferta ideal de alimento para sustentar explosões populacionais de mosca-da-haste, com alto potencial de dano econômico à cultura.

A mosca-da-haste é um inseto-praga invasivo ao Brasil, registrado no Brasil em 2015, por meio de identificação taxonômica e caracterização do DNA mitocondrial (ARNEMANN et al., 2016) e centro-oeste em 2018 (CZEPAK et al., 2018), no Paraguai em 2016 (GUEDES et al., 2017), na Bolívia em 2019 (VITORIO et al., 2019) e na Argentina (TROSSERO et al., 2020). Ao final da safrinha de 2019, levantamento em lavouras comerciais de soja em 28 municípios no Rio Grande do Sul apontou que 97-100% das plantas amostradas apresentaram danos ocasionados pela mosca-da-haste, independentemente da cultivar de soja e estágio de desenvolvimento.

As regiões Noroeste e Missões do Rio Grande do Sul, onde tradicionalmente cultiva-se a soja safrinha após a colheita do milho (sucessão possível graças à proximidade com o Rio Uruguai, que reduz a possibilidade de ocorrência de geadas tardias e possibilita um plantio precoce do milho), têm sido particularmente afetadas pela mosca-da-haste. Como a injúria é visualmente pouco perceptível, altas infestações muitas vezes passam completamente despercebidas aos olhos do produtor, que atribui a murcha e senescência de folhas a condições de estresse hídrico, e o aceleração da maturação às DFCs (doenças de final de ciclo). Embora os sintomas sejam semelhantes, tais aspectos (murcha de folíolos - figura 5) e aceleração do ciclo) representam típicas

respostas fisiológicas da planta de soja ao ataque de *M. sojae* (especialmente quando em altas infestações), sendo indícios de sua ocorrência.



Figura 5. Trifólios murchos em decorrência do ataque de mosca-da-haste da soja. Paraguay, 2018. Fonte: VITORIO, L., 2018.

Em termos de hábito comportamental, a fêmea da mosca-da-haste deposita seus ovos no interior das folhas (mesófilo – figura 6) da planta de soja, preferencialmente dos unifólios (estágio fenológico V1), mas não restritas a estes. Ao eclodirem, as larvas adentram a nervura principal do limbo foliar, migrando pelo interior do pecíolo até atingirem a haste principal. As galerias abertas pela larva na haste (“broqueamento”, figura 7) em virtude da sua alimentação constituem a injúria característica da praga, estendendo-se da base da planta até o terceiro ou quarto nós, e identificáveis por meio de uma corte longitudinal do caule com o auxílio de um canivete.



Figura 6. Fêmea de *M. sojae* no momento da oviposição endodérmica. Paraguay, 2018. Fonte: VITORIO, L., 2018.

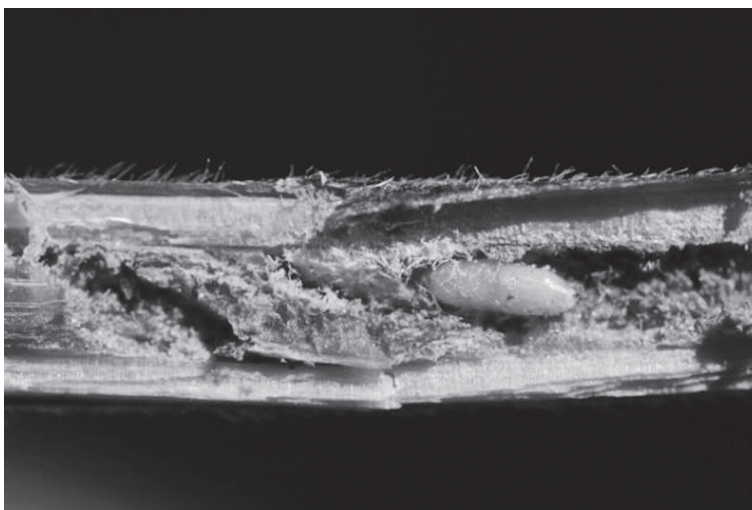


Figura 7. Haste broqueada com coloração avermelhada, exibindo pupa e furo de saída do adulto. Fonte: VITORIO, V., 2019.

Externamente, a planta manifesta um encurtamento dos entrenós, acompanhado por emissão excessiva de ramos laterais; outro aspecto visual de fácil identificação é a presença de um pequeno furo no caule, o qual é feito pela larva antes de entrar na fase de pupa e utilizado pelo adulto para abandonar a planta, quando completa seu ciclo. A duração total do ciclo de *M. sojae* gira em torno de 30 dias (variando de acordo com a temperatura), possibilitando a ocorrência de mais de uma geração no mesmo ciclo da soja, mesmo na soja safrinha (que apresenta um ciclo reduzido). Em condições de alta infestação, a ocorrência de mais de um indivíduo por planta é comum, inclusive de diferentes instares (fases de vida). Em países de ocorrência típica (ex: Irã), a mosca-da-haste apresenta de quatro a cinco gerações por ano, podendo passar o inverno no interior de hastes mortas (ZIAEE, 2012).

No município de Tenente Portela (região Noroeste do estado), o produtor e consultor Alessandro Braucks (figura 8), relata uma ocorrência alarmante de mosca-da-haste em cerca de 5 mil hectares cultivados com soja safrinha em 2019, com incidência de ataque superior a 70% em determinadas áreas. Em Palmeira das Missões, também na região Noroeste, o produtor José Binsfeld estima que 80% das plantas de soja em uma área de 300 hectares, irrigados por pivô, estejam infestadas pela praga (figura 9). Ambos os produtores utilizaram a mesma cultivar (TMG 7062 IPRO) e um manejo químico robusto voltado ao controle de outros insetos-praga, o qual, aparentemente, não apresentou efeito de controle sobre a mosca-da-haste. Embora os índices pluviométricos favoráveis e a irrigação por pivô atenuem os danos fisiológicos decorrentes do broqueamento da haste, os altos níveis de infestação observados em ambas as áreas já ocasionam a murcha de folhas e certamente resultarão em aceleração do ciclo, com consequente redução da produtividade final de grãos. Em países do leste asiático, onde o ataque por *M. sojae* é recorrente, a conjunção déficit hídrico + nutrição inadequada + po-

pulção infestante elevada resultam em reduções de até 50% na produtividade de grãos de soja (SAVAJJI, 2006; JADHAV, 2011; YADAV et al., 2015).



Figura 8. Produtor e consultor Alessandro Braucks e Prof. Jonas Arnemann – UFSM, em lavoura de soja infestada por mosca-da-haste, Tenente Portela, Rio Grande do Sul, em 31 de março de 2019. Fonte: ARNEMANN, J.A., 2019.



Figura 9. Produtor José Binsfeld e Prof. Jonas Arnemann – UFSM, em lavoura de soja infestada por mosca-da-haste, Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, em 31 de março de 2019. Fonte: ARNEMANN, J.A., 2019.

O hábito larval da mosca-da-haste de se desenvolver e se alimentar no interior do caule praticamente impossibilita seu controle por meio de aplicações em parte aérea, embora efeitos positivos possam ser obtidos com inseticidas dotados de capacidade de penetração (ex: clorpirifós) e/ou translocação interna na planta (ex: imidacloprido, tiametoxam, entre outros). De modo geral, os melhores resultados de controle são obtidos por meio de tratamento de sementes (clorantranilprole, imidacloprido, tiametoxam ou fipronil), visando a proteção de planta contra a penetração da larva nos estágios iniciais de desenvolvimento, aliado a uma ou duas aplicações em parte aérea em um intervalo de no máximo 10 dias após a emergência (clorpirifós, tiametoxam + lambda-cialotrina, tiodicarbe, bifentrina ou imidacloprido + beta-ciflutrina), visando principalmente o controle dos adultos e a prevenção de novas oviposições (CURIOLLETTI et al., 2018).

Os ácaros-praga que ocorrem em soja safrinha são o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*), o ácaro-verde (*Mononychellus planki*) e os ácaros-vermelhos (*Tetranychus desertorum*, *Tetranychus ludeni* e *Tetranychus gigas*) (ROGGIA, 2007). O monitoramento da população e a identificação das espécies de ácaros devem ser realizados semanalmente na lavoura de soja, pois são essas informações que determinam o momento que deve ser realizado o controle. O controle de ácaros baseado apenas na presença da praga na lavoura de soja, proporciona elevação dos custos de produção, indução à resistência a inseticidas/acaricidas, mortalidade de inimigos naturais e contaminação do meio ambiente (FIORIN, 2014).

As espécies mais importantes em soja no Sul do Brasil são o ácaro-rajado e o ácaro-verde. São espécies que conseguem se multiplicar com eficiência, têm elevada capacidade reprodutiva e adaptativa, ocorrem ao longo do ano (em plantas hospedeiras), com elevadas densidades nos períodos mais quentes, que coincidem com o cultivo da soja no Sul do Brasil (GUEDES et al., 2008).

O sintoma característico do ataque de ácaros em folíolos de soja é a presença de pontuações brancas ou amarelas, que evoluem para bronzeamento e necrose (figura 10).

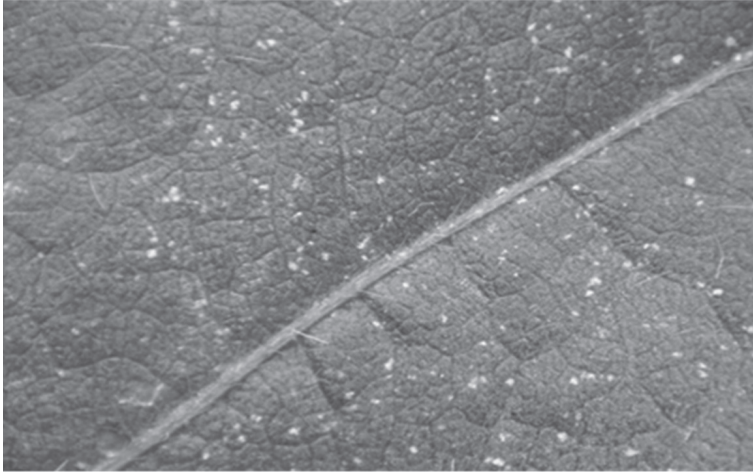


Figura 10. Pontuações brancas no início do ataque de ácaros em soja, Fonte: ARNEMANN, J.A., 2013.

Em períodos secos, as células murchas das folhas de soja, força os ácaros a “perfurar” um maior número de células para obter o mesmo volume de líquidos (conteúdo celular) necessário à sua sobrevivência, aumentando as injúrias nas plantas (figura 11).



Figura 11. Injúrias de ácaros em folíolo de soja, Fonte: ARNEMANN, J.A., 2013.

Em estudos realizados em áreas com e sem controle de ácaros, na safra 2011/12 em São Sepé e Santa Maria-RS, constatou-se que as perdas ocasionadas por estes podem chegar a 20 sc ha^{-1} , dependendo da cultivar de soja utilizada (Arnemann et al., 2018). Em termos práticos e usando nossa experiência, em média a presença de 1-2 ácaros/folíolo de soja justificam o seu controle, visto o baixo custo de acaricidas e o alto valor da saca de soja (2020).

Os produtos mais utilizados no controle de ácaros em soja são formulados a base de abamectina (custo mais baixo), com eficiência 15% maior com adição de óleo mineral, espiromesifeno (maior custo, eficiência e residual de controle), entre outros registrados para a cultura. Os ácaros vêm ganhando importância nos últi-

mos anos devido a sua maior distribuição e intensidade dos seus ataques nas lavouras de safrinha.

A mosca-branca do gênero *Bemisia* (Hemiptera: Aleyrodidae) compreende um complexo de espécies crípticas, com amplo espectro de hospedeiros vegetais e alto potencial de dano. Na soja safrinha, as perdas em decorrência do ataque dessa praga têm preocupado os produtores devido ao seu alto potencial de dano. Historicamente a mosca-branca ocorre em todos os estados brasileiros, e nas últimas safrinhas vem sendo observadas altas infestações em diversas lavouras de soja (Figura 12).



Figura 12. Produtor José Binsfeld e Prof. Jonas Arnemann – UFSM, em lavoura de soja infestada por mosca-branca, Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul. Fonte: PATIAS, L., 2018.

Com elevada taxa de oviposição, realizada na face de baixo de folíolos da soja, a mosca-branca tem elevado potencial biótico. Após a eclosão das ninfas de primeiro instar, as mesmas se locomovem pelo folíolo até encontrarem um local favorável ao seu desenvolvimento, onde inserem o seu estilete e iniciam a sua alimentação. Ao se alimentar, as ninfas (que passam por 4 estágios de desenvolvimento até a emergência do adulto) injetam toxinas na planta e secretam uma substância açucarada, denominada *honeydew*, que favorece o desenvolvimento de fungo *Capnodium* sp. (conhecido comumente como fumagina) sobre as folhas, reduzindo a taxa fotossintética da planta. Além disso, os adultos de mosca-branca são vetores de diversas viroses, visto que ao se alimentarem de uma planta doente, adquirem o vírus e o transmitem às demais plantas. O manejo de mosca-branca na maioria das culturas é realizado utilizando inseticidas biológicos e químicos (ARNEMANN et al. 2019).

A importância dos percevejos em soja aumentou nos últimos anos em decorrência do aumento da área cultivada e ampliação das épocas de cultivo, a presença de hospedeiros alternativos nas culturas de entressafra e a redução do uso de inseticidas na fase vegetativa da cultura, devido ao predomínio das sojas que expressam proteínas *Bt* (CORRÊA-FERREIRA et al. 2009, GUEDES et al. 2016). As principais espécies que ocorrem no Brasil são *Euschistus heros* (Fabricius), *Piezodorus guildinii* (Westwood), *Nezara viridula* (Linnaeus) *Dichelops furcatus* (Fabricius) e *Dichelops melacanthus* (Dallas) (PANIZZZI et al. 2012.).

Os danos causados por percevejos são resultado da sucção de legumes, levando à grãos menores, chochos e enrugados, com redução da produtividade e qualidade de grãos (vigor e germinação). O quanto (\$) se perde pelo ataque dos percevejos depende da espécie, do número de percevejos e do estágio de vida (ninfa ou adulto), do estágio de desenvolvimento das plantas de soja e de quanto tempo os percevejos permanecem se alimentando na lavoura. Para o manejo, o controle

químico é o método mais usado pelos produtores, predominando no mercado as opções com inseticidas organofosforados, piretróides e neonicotinoides (e suas combinações) (MARQUES et al. 2019). Devido ao cultivo de soja safrinha entrar em período crítico, para o dano por percevejos após a colheita da soja em primeira safra, deve-se ter um monitoramento constante da população do inseto-praga, em lavouras de soja safrinha.

Outro aspecto a ser observado no cultivo de soja safrinha, é a dificuldade do cultivo se recuperar de estresses hídricos, pois devido ao menor potencial de crescimento vegetativo, em situações de falta de água a cultura apresenta menor capacidade de recuperação em relação ao cultivo de soja em primeira safra. Sendo indicado, se disponível, a utilização de irrigação.

Histórico de áreas de cultivos agrícolas, no Rio Grande do Sul e potencial de cultivo de soja safrinha

O Rio Grande do Sul é um dos principais produtores de soja do país. A área cultivada no estado na safra 2019/20, segundo a Conab (2020b), foi de 5.902 mil ha, ficando atrás apenas do Mato Grosso no cenário nacional. Quanto à produção, exceto pela safra atual, em que o estado foi acometido por estiagem, apresentando perdas, até o momento, de cerca de 30%, o RS tem ocupado o posto de terceiro maior produtor, eventualmente sendo o segundo quando o PR enfrentou problemas climáticos, chegando a produzir mais de 19 Mt na safra 2018/19.

Boa parte da produção do estado se dá em regiões onde seu cultivo já está consolidado, resultado de décadas de avanços na área cultivada. Nesses locais, atualmente, há pouca margem para aumentos, sendo isso basicamente resultante da abertura de áreas de campo nativo ou substituição de culturas, por exemplo, milho, arroz, pastagens cultivadas ou outras culturas menos expressivas. O manejo de áreas de várzea com vistas ao cultivo da soja têm sido uma grande busca de

produtores e técnicos como alternativa ao arroz, porém, devido às condições de cultivo nesse tipo de ambiente, existe incerteza sobre sua possibilidade de expansão.

A substituição do cultivo de milho por soja, por outro lado, tem sido recorrente nos últimos, em especial a partir do final da década de 1990 (Figura 13). Desde a safra 2000/01, a área de soja teve um incremento de 99% (CONAB, 2020b), enquanto a de milho reduziu 53% no mesmo período. A soma das duas, por sua vez, teve uma variação positiva de 41%. Isso mostra que, apesar de ter havido abertura de novas áreas para o cultivo da soja, boa parte da área atual foi “herdada” do cultivo do milho, ou seja, 42%.

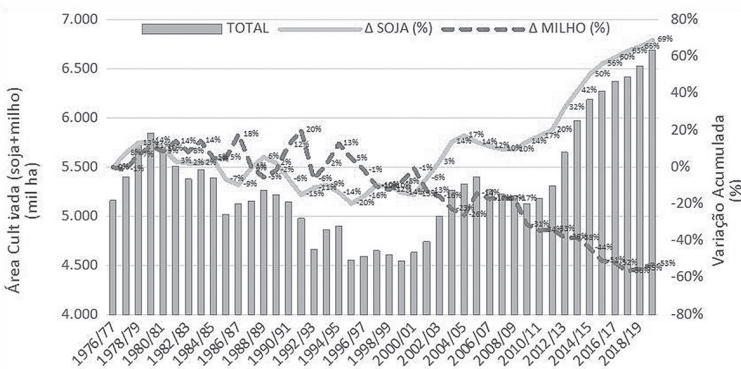


Figura 13. Área total das principais culturas de verão (soja + milho) e variação anual acumulada na área desde o início da série histórica para milho e soja no estado do Rio Grande do Sul. (Fonte: Conab, 2020b)

A área de milho no RS atingiu seu menor valor na safra 2017/18, com 728 mil ha cultivados, apenas 36% do que fora cultivado na safra 1991/92, a maior da série histórica (Figura 14). Certamente essa análise leva em conta somente a área cultivada com o cereal, sem entrar no mérito do aumento da produtividade de no mesmo período foi de 186% - análise referente à safra 2018/19, que teve o recorde de produtividade de milho no estado. Porém, essa análise é importante para mostrar a signifi-

cativa redução na área cultivada com o cereal, principalmente em decorrência da alta rentabilidade proporcionada pela soja e da instabilidade de cultivo do milho.

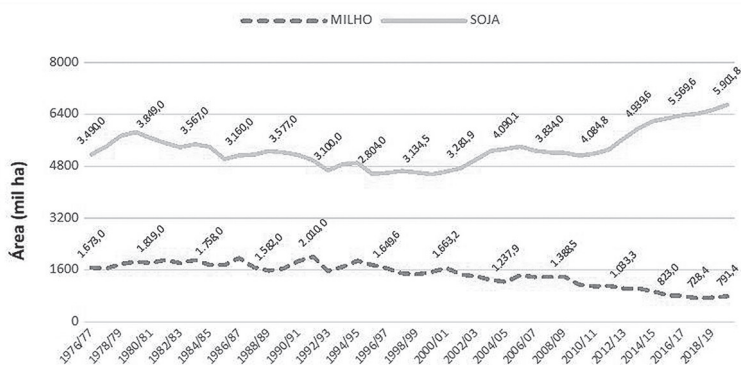


Figura 14. Série histórica de área cultiva com milho e soja no Rio Grande do Sul. (Fonte: CONAB, 2020b).

No entanto, avanços recentes no cultivo do milho, com incorporação de cultivares, técnicas de manejo e, em especial, com o uso da irrigação (aspersão por pivô central), têm proporcionado um incremento de produtividade na ordem de 15% ao ano nos últimos 10 anos (CONAB, 2020b), o que, aliado ao aumento da demanda pelas cadeias de produção animal, tem tornado seu cultivo novamente atrativo e uma alternativa à monocultura da soja. Além disso, o uso intensivo do solo e do sistema de irrigação tem motivado uma mudança na dinâmica da safra em algumas partes do RS, com a introdução de um segundo cultivo de verão (“safrinha”) nas regiões mais quentes.

A regiões mais a oeste do estado, em especial aquelas próximas ao Rio Uruguai: Alto e Médio Vale do Uruguai, Missioneira e Baixo Vale do Uruguai (classificação utilizada por Radin et al., 2017) são as que normalmente iniciam a semeadura do milho mais cedo. Como pode ser visualizado na Figura 15, essa parte do estado apresenta a menor chance de ocorrência de geadas tar-

dias, favorecendo o início da semeadura antes mesmo do término do inverno, ainda no mês de agosto, tendo uma significativa parte dessas áreas com semeadura avançada nesse mês. Com isso, a partir do último decêndio de dezembro já é possível realizar a colheita do cereal e a semeadura de soja. Embora o zoneamento da cultura da soja permita sua semeadura até o último dia do ano (MAPA, 2019), produtores capitalizados, e que não dependem de crédito e seguro oficiais, acabam avançando com a semeadura durante o mês de janeiro. Portanto, as lavouras de milho colhidas nesse mês podem dar origem a lavouras de soja (Figura 16).

Em condições normais, cerca de 10 a 20% da área de milho costuma ser colhida durante o mês de janeiro (CONAB, 2020a), o que gera uma área potencial de soja "safrinha" de até aproximadamente 150 mil ha, somente em cima de milho grão. Boa parte dessa área, por um lado, acaba não destinada à soja, dando origem a novas lavouras de milho, milho silagem, feijão 2ª safra, etc., mas, por outro lado, áreas de outras culturas, como feijão 1ª safra ou milho silagem, também podem passar a ser cultivadas com soja. Essa última, muito importante, já que sua área é de cerca de 50% da área de milho grão, gerando mais um potencial de área superior a 50 mil ha. Portanto, existe uma área passível de ser cultivada com soja "safrinha" de cerca de 200 mil ha no RS.

Os diversos órgãos estatais e consultorias privadas que acompanham a safra no RS não fazem a discriminação das áreas de soja "safrinha", mas estima-se que ela varie entre 80 e 120 mil ha, dependendo do ano. Embora ainda pequena, essa área poderá ser aumentada nos próximos anos, caso as rentabilidades tanto da soja quanto do milho sigam em patamares altos, podendo ser cada vez mais expandida com o uso de tecnologias como cultivares precoces de milho e posicionamento de cultivares de soja adaptadas a esse ambiente de cultivo.

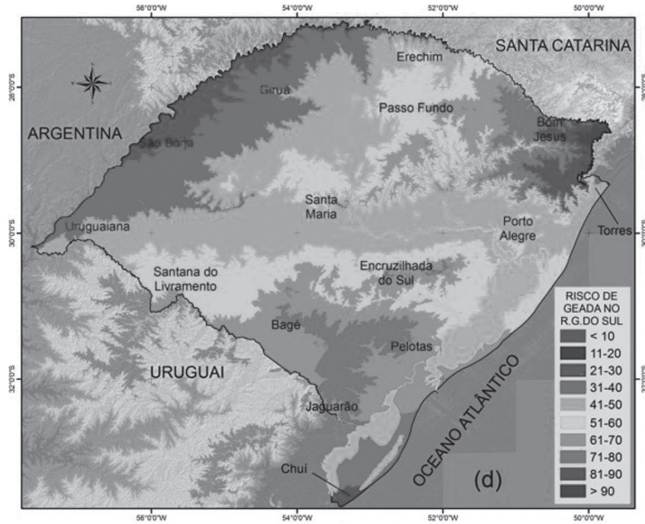


Figura 15. Risco de ocorrência de geada no mês de agosto no Rio Grande do Sul. (Fonte: Wrege et al., 2018).

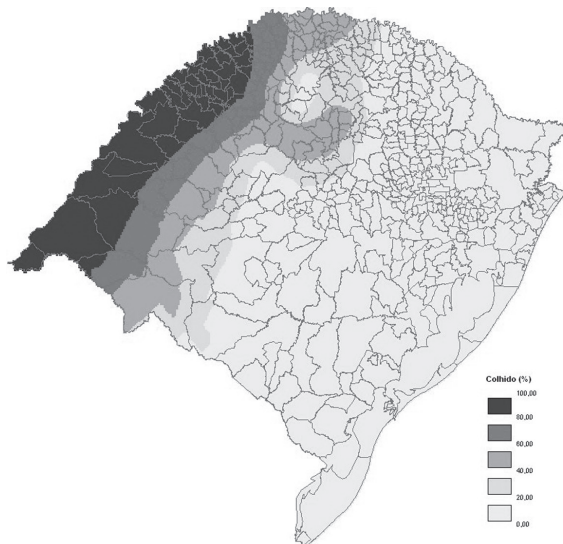


Figura 16. Porcentagem da área de milho colhida em janeiro de 2020 no Rio Grande do Sul. (Fonte: acervo interno da Conab).

Características morfológicas de soja safrinha

O número de trabalhos publicados, sobre o cultivo de soja safrinha no Rio Grande do Sul são reduzidos. No entanto, associado a produtividade de grãos algumas características morfológicas merecem destaque, para o cultivo de soja durante este período, dentre elas a altura de inserção do primeiro legume (AIPL), altura de plantas (AP), número de ramificações (NR), massa de mil sementes (MMS).

O caractere AIPL é importante para as cultivares de soja, apresentando relação com a eficiência de colheita mecânica. Influências ambientais e ajustes no manejo da cultura, determinam a AIPL. Para esse caractere é recomendado preferencialmente a adoção de cultivares com AIPL igual ou superior a 15 cm (ROCHA et al., 2012). No entanto, em trabalho desenvolvido na Índia, com a avaliação de 90 genótipos, AIPL de 12 cm é indicado como adequado para alto rendimento operacional (RAMTEKE et al., 2012).

Na avaliação de 18 cultivares de soja, em três locais na região noroeste, durante o período de cultivo de soja safrinha no Rio Grande do Sul, foi observado valores médios de 13,22 cm em Barra do Guarita - RS, 11,04 cm em Vista Gaúcha - RS, 8,04 cm em Tenente Portela - RS (FOLLMANN, et al., 2017). Os dois primeiros locais, foram semeados no primeiro decêndio do mês de janeiro e o experimento de Tenente Portela - RS foi semeado dia 24 de janeiro, indicando que o atraso na semeadura de lavouras de soja safrinha, podem diminuir a AIPL e potencializar perdas de grãos durante a colheita mecânica. Neste sentido, o posicionamento de cultivares e boas práticas no momento da colheita, são fundamentais para evitar perdas nesta etapa em cultivos de soja safrinha.

Estudos sobre relações lineares em soja safrinha, indicam que a AP, tem relação positiva com o aumento de produtividade de grãos (FOLLMANN et al., 2017; MEIER et al., 2019; PETER, M. et al., 2019), podendo ser adotada como critério de escolha de cultivares. No entanto, nos respectivos trabalhos foram avaliados algu-

mas cultivares, sendo importante a realização de novos estudos de relações lineares, para melhor compreensão destas relações e o adequado posicionamento de cultivares para o cultivo de soja safrinha, também levando em consideração condições específicas de ambiente para cada região de cultivo.

Outros estudos, nesse período de semeadura, apontam redução da AP em relação a outras épocas de cultivo (BRACCINI et al., 2004; LUDWIG et al., 2010; MEOTTI et al., 2012), indicando o posicionamento de cultivares de ciclo médio ou ciclo precoce e de porte elevado, para cultivo em épocas de semeadura tardias (MEOTTI et al., 2012). A genética de cada cultivar, tem grande influência na determinação do potencial de crescimento em AP, para cultivos de soja safrinha.

O caractere NR é uma característica importante para o estabelecimento do dossel vegetativo, a expressão desta característica em cultivos de soja safrinha, sofre alterações quando comparado com período tradicional de cultivo. Estudos desenvolvidos em épocas de semeadura no estado do Rio Grande do Sul, indicam que o número de ramificações na cultura da soja diminui com o atraso da época de semeadura, com valores médios de ramificações/planta menor que dois em fevereiro, ou seja, abaixo dos valores médios que ficaram acima de quatro ramificações/planta para a época de semeadura de setembro (ZANON et al., 2015).

O caráter NR tem relação com a capacidade das cultivares conseguirem se estabelecer, auxiliando na adequada formação do dossel vegetativo, principalmente quando ocorre diminuição do estande de plantas por doenças e pragas. O conhecimento da expressão genética desse caractere para cada cultivar é importante, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de manejo como a densidade de semeadura. O ambiente de cultivo, cultivares e hábito de crescimento, apresentam relação com a expressão desse caractere (SETIYONO et al., 2011).

Devido a menor capacidade de ramificação da cultura da soja em cultivo de safrinha, em relação ao pe-

río de primeira safra, sugere-se um aumento da densidade de sementeira para este ambiente. No entanto, é importante a realização de estudos específicos, ajustando a população de plantas para as cultivares utilizadas no cultivo de soja safrinha.

A MMG é outro caractere que apresenta forte relação com a produtividade de grãos, cultivares que conseguem manter uma boa massa de grãos, quando cultivadas em período de safrinha, podem ser consideradas como bom indicativo de sua adaptação a este ambiente de cultivo. Pois, mesmo em condições ambientais menos favoráveis que no período de primeira safra, a planta consegue apresentar bom enchimento de grãos. O mesmo é sugerido por estudos de relações lineares em cultivos de soja safrinha, que indicam existir relação positiva entre a MMG e a produtividade de grãos (FOLLMANN et al., 2017; MEIER et al., 2019). Ou seja, ao posicionar cultivares para o ambiente de cultivo safrinha, deve-se buscar cultivares que apresentam elevada MMG quando cultivadas em períodos de sementeira tardios.

A produtividade de grãos, é a principal variável de interesse no cultivo da soja, a adequada expressão está relacionada ao sucesso de uma lavoura. No entanto, esta característica é controlada por um grande número de genes, estando sua expressão relacionada diretamente a influências ambientais (RAMALHO et al., 2012). Uma boa produtividade de grãos de cultivares em determinado local e ambiente, pode não se repetir em ambientes com características diferentes. Neste sentido, além de buscar caracteres como a AP e MMG que se relacionam positivamente com o aumento de produtividade de grãos, experimentos para avaliar o desempenho agrônomico e posicionamento de cultivares em locais de cultivo de soja safrinha são necessários.

Considerações finais

Devido ao reduzido número de trabalhos sobre o cultivo de soja safrinha, em especial a épocas de sementeira, existe dificuldade de se estabelecer uma data para o limite do período de sementeira. No entanto, ob-

servações sugerem que a data próxima a 20 de janeiro, é limitante para a semeadura, ou seja, após essa data ocorre redução do potencial produtivo, para o cultivo de soja safrinha.

Para conseguir realizar a semeadura na primeira quinzena de janeiro, além da semeadura de cultivares de milho superprecoce, alguns produtores realizam a colheita antecipada do milho, ou seja, iniciam a colheita com umidade dos grãos acima de 20% e investem em estrutura de secagem, para viabilizar a semeadura de soja na primeira quinzena de janeiro.

Além de tópicos abordados, outros pontos instigam a necessidade de investigação científica, no manejo de soja safrinha. Alguns dos principais pontos a serem definidos são:

- Qual o potencial produtivo máximo, de cultivo de soja safrinha, semeada ao final da primeira e segunda quinzena de janeiro?

- Quais os níveis de investimento em insumos, como os relacionados a fertilização que condicionam retorno econômico?

- Qual o impacto do cultivo de soja safrinha, no sistema produtivo de grãos?

- Qual a definição de época de semeadura limitante, pra determinadas regiões do estado do Rio Grande do Sul?

- Qual o posicionamento de cultivares, para determinadas regiões e densidades de semeadura?

- Quais as estratégias de manejo com relação a pragas e doenças?

Enfim, esses são pontos que devem ser considerados no planejamento de pesquisas científicas, com relação ao cultivo de soja safrinha.

Referências

BRACCINI, A.L.; MOTTA, I.S.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI M.C.L.; ÁVILA M.R.; MESCHEDE D.K. Características agronômicas e rendimento de sementes de soja na

- semeadura realizada no período de safrinha. **Bragantia**, v.63, n.1, p.81-92. 2004.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, v.7 – Safra 2019/20 – Quinto Levantamento, p.1-112, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> Acesso em: 03 de maio de 2020.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras: Soja**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras> Acesso em: 03 de maio de 2020.
- FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SOUZA, V.Q.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; DEMARI, G.H.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A.J.; SZARESKI, V.J.
- LUDWIGI, M.P.; DUTRA L.M.C.; LUCCA FILHO, O.A.; ZABOT, L.; UHRY, D.; LISBOA, J.I.; JAUER, A. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e *Roundup Ready*TM em função da época e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v.40, n.4, p. 759-767. 2010
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria nº 76, de 11 de julho de 2019**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/portarias/safra-vigente/rio-grande-do-sul> Acesso em: 03 de maio de 2020.
- MEIER, C.; MEIRA, D.; MARCHIORO, V.S.; OLIVOTO, T.; KLEIN, L.A.; MORO, E.D.; LUNKES, A.; RIGATTI, A.; BELLO, R.F.; BUENO, R.B.; SOUZA, V.Q. Performance agronômica e correlação linear entre componentes de rendimento da soja em segunda safra. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n. 4, p. 933-941. 2019.
- MEOTTI, G.V.; BENIN, G.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p. 14-21. 2012.
- PETER, M.; CARVALHO, I.R.; FERREIRA, L.L.; SZARESKI, V.J.; DEMARI, G.H.; BARBOSA, M.H.; LAUTENCHLEGER, F.; SILVA, J.A.G.; MOURA, N.B.; MAGANO, D.A.; SOUZA, V.Q.; INHAQUITTI, A.V.S. Performance of

- soybean seed yield components in a non-preferential cropping season. **Genetics and Molecular Research**, v.18, n.4, p. 1-8. 2019.
- RADIN, B.; MATZENAUER, R. DE MELO, R.W.; WREGE, M.S.; STEINMENTZ, S. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.4, p.1161-1169, 2017.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P.; SOUZA, E.A.; GONÇALVES, F.M.A.; SOUZA, J.C. **Genética na agropecuária. 5ª Ed. UFLA**, Lavras. 2012. 566 p
- RAMTEKE, R.; SINGH, D.; MURLIDHARAN. P. Selecting soybean (*Glycine max*) genotypes for insertion height of the lowest pod, the useful trait for combine harvester. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 82, n.6, p. 511-515. 2012.
- Relações Lineares entre caracteres de soja safrinha. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.1, p.213-221. 2017.
- ROCHA, R.S.; SILVA, J.A.L.; NEVES, J.A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C. Desempenho agrônômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.1, p.154-162. 2012.
- SETIYONO, T.D., BASTIDAS, A.M., CASSMAN, K.G., WEISS, A., DOBERMANN, A., SPECHT, J.E. Nodal leaf area distribution in soybean plants grown in high yield environments. **Agronomy Journal**, v.103, p.1198-1205. 2011.
- WREGE, M.S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M.T.; PRELA-PÂNTANO, A.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P.H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.524-553, 2018.
- ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; RICHTER, G.L.; BECKER, C.C.; ROCHA, T.S.M.; CERA, J.C.; WINCK, J.E.M.; CARDOSO, Â.P.; TAGLIAPIETRA, E.L.; WEBER, P.S. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v.74, n.3, p.279-290, 2015.

APLICAÇÕES DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA CULTURA DA SOJA

André Luis Vian¹, Christian Bredemeier¹, João Leonardo Fernandes Pires², Geomar Mateus Corassa³ e João Paulo Vanin⁴

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Av. Bento Gonçalves nº 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre - RS, Brasil. E-mail: andre.vian@ufrgs.br

² Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, CEP: 99050-970 Passo Fundo - RS, Brasil.

³ CCGL - Cooperativa Central Gaúcha Ltda, RS-342, km 149, CEP 98005-970 Cruz Alta - RS, Brasil.

⁴ SLC Agrícola, Rua Bernardo Pires, nº 128, CEP 90620-010 Porto Alegre - RS, Brasil.

Introdução

A soja é a cultura produtora de grãos mais produzida no Brasil. Conforme estimativa da Conab para a safra 2021/2022, a área cultivada foi de aproximadamente 40,9 milhões de hectares, com produção de 124 milhões de toneladas e rendimento médio de grãos de 3.029 kg/ha (Conab, 2022). Para a mesma safra, RS e SC respondem por 17,4% da área de cultivo no Brasil (7,13 milhões de ha), 9% da produção brasileira (11,15 milhões de t) e rendimento médio de grãos de 1.433 kg/ha no RS e 2.802 kg/ha em SC (Conab, 2022). As realidades de produção são bastante distintas, desde ambientes de clima temperado do Sul até tropical em baixas latitudes no Norte do Brasil. A cultura está presente desde pequenas propriedades de cunho familiar até grandes empreendimentos empresariais com milhares de hectares cultivados. Essa distribuição geográfica de realidades de produção e, portanto, com grande variabilidade de possibilidades de variação no manejo, é uma oportunidade interessante para avaliação e aplicação de abordagens e tecnologias no escopo da Agricultura de Precisão (AP).

A AP é uma área multidisciplinar que se caracteriza por um conjunto de ferramentas que integram sistemas de posicionamento global, gestão agrícola, sensoriamento remoto, informática e economia, entre outros. A inclusão de ferramentas digitais que permitem o melhor entendimento da interação das condições edáficas

do solo com as condições de cultivo (planejamento até colheita) permite ajustes, proporcionando incrementos na produção de grãos.

Amostragem de solo e plantas em grade (*grid*), definição de zonas/ambientes de manejo, intervenções em taxa variável, uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS), experimentação na fazenda (*on-farm*), confecção de mapas de colheita e identificação e manejo localizado de plantas daninhas, pragas e doenças são alguns exemplos de abordagens em desenvolvimento e/ou uso prático na agricultura brasileira e, portanto, com potencial para uso em sistemas de produção que envolvem a soja. Neste capítulo, pretende-se apresentar e discutir as algumas possibilidades de aplicação de abordagens e tecnologias de AP nos sistemas de produção de soja, buscando o aumento do rendimento de grãos, o uso racional de insumos, a preservação do ambiente e o incremento da rentabilidade da atividade agrícola.

Mapeamento do rendimento de grãos

A caracterização da variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de soja é uma ferramenta disponível atualmente por meio do uso de colhedoras dotadas de sensores específicos e sistema de posicionamento global por satélites (GNSS) capazes de quantificar e localizar espacialmente a variabilidade do rendimento de grãos nos talhões. Esse trabalho necessita adequada calibração de sensores e suporte de empresas fornecedoras e adequado processamento dos dados após a colheita, a fim de que os mapas gerados sejam condizentes com a realidade do campo (Resende et al., 2014). A correta caracterização da variabilidade espacial do rendimento de grãos por algumas safras é uma etapa importante da AP e serve de base, juntamente com outras informações, para a definição de zonas/ambientes de manejo e posterior intervenção por meio de práticas de manejo específicas em cada zona (Figura 1).

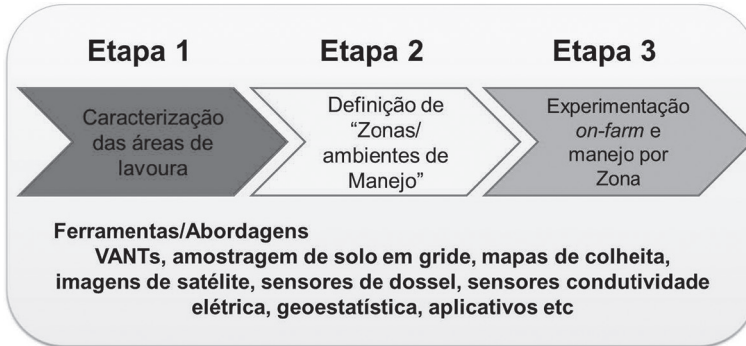


Figura 1. Etapas principais do uso da Agricultura de Precisão para manejo de áreas de produção agrícolas e algumas ferramentas/abordagens com potencial para utilização em soja.

Inúmeros mapas de variabilidade espacial e temporal do rendimento de grãos de soja têm sido gerados em áreas comerciais (Figura 2). Isso, por si só, representa um avanço em relação à informação disponível anteriormente, na qual se tinha uma estimativa de produtividade do talhão como um todo e pouca capacidade de intervenção para corrigir e/ou ter o melhor custo/benefício de cada local dentro do talhão.

Uma das principais aplicações dos mapas de colheita é a investigação das causas que levaram a ocorrência de regiões da lavoura com baixo e alto rendimento de grãos, pois, por meio dessa análise, é possível planejar estratégias de manejo mais eficientes para as próximas safras (Eitelwein et al., 2016).

Entretanto, deve-se considerar que a soja, por sua grande plasticidade fenotípica e capacidade de compensação, tanto de crescimento vegetativo quanto de componentes do rendimento de grãos, muitas vezes não se constitui em indicadora adequada da variabilidade, dentro de algumas proporções. A fixação simbiótica de nitrogênio pela soja, por exemplo, pode, em algumas situações, compensar diferenças de disponibilidade de nitrogênio entre áreas dentro do talhão, uniformizando os indicadores de crescimento e o rendimento de grãos.

Também o acompanhamento espectral da lavoura durante o ciclo (usando avaliações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, por exemplo) pode não representar corretamente as variações no rendimento de grãos. Isso é positivo, mas demonstra a necessidade de maior atenção na interpretação dos resultados obtidos, da integração dos mapas de variabilidade de rendimento de grãos de soja com os de outras culturas melhores indicadoras (como milho e cereais de inverno) de várias safras e de informações de química e física de solo e monitoramento do dossel.

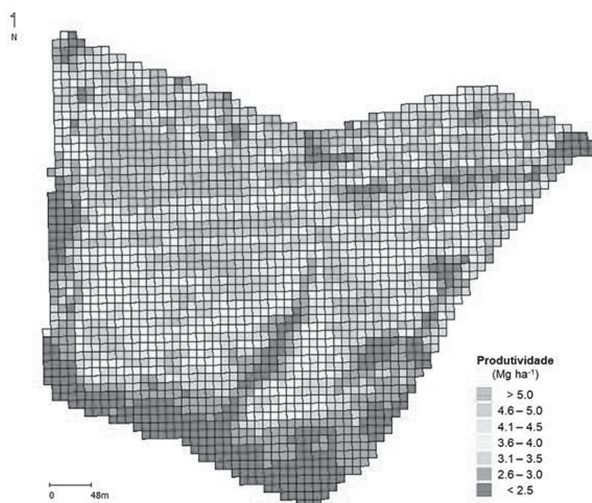


Figura 2. Exemplo de mapa de variabilidade espacial do rendimento de grãos de lavoura de soja. Fonte: CCGL (2019).

Zonas de Manejo

Uma prática utilizada recentemente é a subdivisão da área total em pequenas áreas dentro do talhão, com características semelhantes, a fim de encontrar áreas mais homogêneas nos campos de produção. Essas divisões são conhecidas como "Unidades/Zonas de manejo", "Unidades de gestão diferenciada" ou "*Yield Environment*" e são definidas com o uso de mapas de colheita, mapas da distribuição espacial de nutrientes no solo e

uso de índices de vegetação e imagens de satélite, bem como pelas condições ambientais de produção (McBratney et al., 2005; Santi et al., 2013). A partir destas definições, tornou-se possível a prescrição personalizada para cada local da lavoura e considerando os diferentes âmbitos, como, por exemplo, a prescrição de nutrientes, intervenções mecânicas e biológicas, manejo da água, estratégias de conservação do solo e taxa variada de sementes.

Experimentação na fazenda (*on-farm*)

O mapeamento do rendimento de grãos, com ou sem a definição de Zonas de Manejo, também pode contribuir para uma estratégia importante da AP, que é a realização de ensaios na fazenda (do inglês *on-farm*), a fim de validar indicadores de manejo específicos para cada talhão/zona de manejo. Esses ensaios são realizados com equipamentos comerciais, implantando faixas ou os chamados “parcelões” de tratamentos contrastantes (Figura 3), os quais podem ser monitorados durante o desenvolvimento da cultura por meio de ferramentas utilizadas na AP, como imagens de satélites, drones e equipamentos terrestres e que culminam com a colheita, gerando mapas de rendimento de grãos que demonstram a efetividade de alguns tratamentos. Por meio dessas informações, é possível aplicar os tratamentos mais eficientes, do ponto de vista produtivo e/ou econômico na região (talhão/zona de manejo) no local estudado.

Como exemplos das possibilidades em soja, é possível realizar ensaios *on-farm* nos seguintes aspectos:

- Diferentes genótipos;
- Variação no arranjo de plantas (população de plantas e espaçamento entre linhas);
- Aplicação de diferentes micronutrientes, hormônios e produtos promotores do rendimento de grãos;
- Aplicação de diferentes inoculantes e/ou co-inoculação (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*);
- Variação nos sistemas de rotação/sucessão de culturas;

- Diferentes estratégias para o controle de nematoides;
- Calagem e adubação diferenciada;
- Diferentes práticas para descompactação do solo;
- Opções de tratamento de sementes;
- Diferentes estratégias de controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

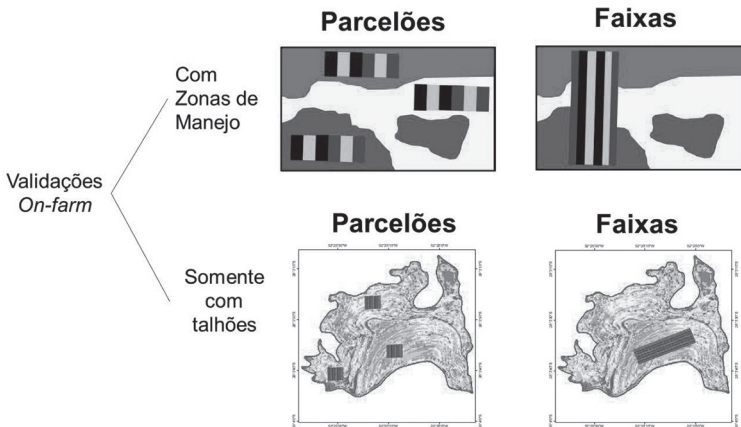


Figura 3. Exemplos de variação de estratégias para validação de tecnologias/abordagens de AP em experimentos *on-farm*, com e sem a definição de Zonas de Manejo.

A pesquisa também pode estar conectada com as atividades *on-farm*. Atualmente, uma grande quantidade de dados gerados por diferentes Instituições e Grupos de pesquisa públicos e privados estão disponíveis e podem auxiliar na delimitação dos tratamentos a serem avaliados em ensaios *on-farm*. Com o uso de "Big data", análises robustas, capacidade computacional e interpretações agrônômicas dos resultados é possível utilizar dados de ensaios com controle realizados por meio de experimentação convencional para direcionar a experimentação *on-farm* e gerar indicadores para uso em cada zona de manejo ou talhão (Figura 4). Por exemplo, Corassa et al. (2018a) avaliaram um conjunto de dados de ensaios de

densidade de semeadura de soja realizados em diferentes locais do Sul do Brasil. Os ensaios foram realizados por vários anos, utilizando genótipos de grupos de maturidade relativa e tipos de crescimento contrastantes. Foram utilizadas técnicas como modelagem hierárquica e estatística Bayesiana, sendo possível identificar, para diferentes ambientes de potencial produtivo (que poderiam ser entendidos como zonas de manejo com diferentes históricos de rendimento de grãos), densidades específicas e possibilidades de redução ou aumento da densidade de semeadura, a fim de garantir ou aumentar o rendimento de grãos, obtendo-se o melhor desempenho possível em cada zona de manejo. Essa é uma das oportunidades que os produtores de soja que utilizam estratégias de AP podem se beneficiar. Outros exemplos de avaliações/indicações de fatores de manejo por zona de manejo em soja podem ser encontrados em Corassa et al. (2018b), para o posicionamento de cultivares, e Camicia et al. (2018), para densidade de semeadura.

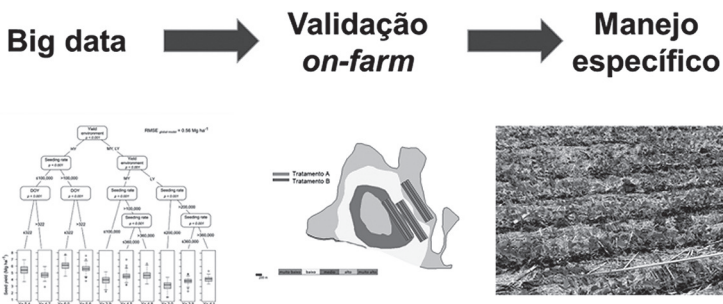


Figura 4. Exemplo da oportunidade de integração de trabalhos acadêmicos envolvendo "Big data", experimentação *on-farm* e indicação de manejo específico para cada talhão ou zona de Manejo.

A abordagem de experimentação *on-farm*, entretanto, apresenta algumas limitações que precisam ser consideradas. A conscientização do produtor sobre os procedimentos e necessidades da AP em trabalhos *on-farm*, a necessidade de equipamentos e assistência técnica para realização da implementação, manejo e co-

lheita no tempo e formato adequados, disponibilidade de banco de dados histórico capaz de permitir a definição de zonas de manejo de forma adequada, aversão do produtor ao risco de fazer variações de grande magnitude em determinados fatores em validações *on-farm* e dificuldades de interpretação e aplicação dos resultados são algumas dessas dificuldades.

Taxa variada de sementes

Dentre as diversas práticas de manejo que contemplam o sistema de produção na cultura da soja, a densidade de sementes que resultará na população de plantas desejada (número de plantas por unidade de área) é um fator tradicionalmente considerado pelos produtores e técnicos. Por este motivo, essa prática é continuamente refinada e estudada globalmente (Egli, 1988; Pires et al., 2000; Lee et al., 2008; Ferreira et al., 2016). A correta prescrição da densidade ótima de sementes garante a maximização do uso dos recursos ambientais, proporciona o melhor desempenho do genótipo e, conseqüentemente, maximiza a produtividade (Egli, 1988; Board, 2000; Cox e Cherney, 2011).

Nos últimos anos, contudo, novos esforços por meio de ferramentas de AP foram realizados buscando entender a dinâmica da densidade de semeadura dentro de um mesmo talhão agrícola (Horbe et al., 2013; Schwalbert et al., 2018, Corassa et al., 2018a). No entendimento tradicional, a taxa ótima era definida para cada cultivar e a prescrição realizada de forma uniforme dentro dos talhões agrícolas. Com os avanços em tecnologias capazes de realizar o mapeamento detalhado dos talhões, como a amostragem georreferenciada de atributos químicos e físicos e da colheita (monitores de produtividade, imagens de satélite), foram percebidos e caracterizados os contrastes produtivos dentro de um mesmo talhão (Molin, 2002; Santi, 2007; Amado e Santi, 2011) (Figura 2). Estas constatações foram fundamentais para que tanto a pesquisa quanto os produtores comesçassem

a se questionar se ambientes com diferentes potenciais produtivos não deveriam receber diferentes densidades de sementes. Além disso, mesmo com os avanços de manejo localizado e a consequente equalização das áreas (i.e, correção de locais de baixa produtividade), foram evidenciadas situações em que o baixo potencial produtivo não estava atrelado a fatores controláveis ou passíveis de intervenção, tais como desequilíbrio nutricional e compactação do solo, e que, portanto, a menor oferta ambiental nestes locais deveria pendurar ou, em outras palavras, ser consistente ao longo das sucessivas safras. Esse fato reforçava a necessidade de manejo diferenciado para estes locais. Dentre eles, a prescrição de diferentes densidades de semeadura e a aplicação da taxa variada de sementes (Horbe et al., 2013; Corassa et al., 2018a).

Conceitualmente, a taxa variada de sementes (TVS) consiste na prescrição diferenciada da densidade de sementes e, conseqüentemente, da população de plantas na lavoura, em virtude do ambiente de produção e/ou em virtude de algum diagnóstico prévio (Corassa et al., 2018a). Em suma, a densidade de sementes não é prescrita de forma homogênea ao longo do talhão e, por isso, o uso do termo "variada". Essa prescrição mais assertiva foi facilitada pelo aporte tecnológico empregado nas semeadoras dotadas de sistemas capazes de alterar a densidade de sementes em função de uma recomendação pré-definida (McBratney et al., 2005; Corassa et al., 2018a). Atualmente, tal tecnologia pode ser adquirida pelos produtores, ao mesmo tempo em que já é item de série em grande parte das semeadoras.

Os primeiros estudos avaliando esta prática foram na cultura do milho e conduzidos primeiramente nos Estados Unidos e, posteriormente, no Brasil (Shanahan et al., 2004; Hörbe et al., 2013). Tal fato se deu em virtude do dinamismo e da plasticidade fenotípica tradicionalmente observada para a cultura da soja, o que dificultava a obtenção de resultados conclusivos. Os re-

sultados obtidos na cultura do milho, por outro lado, já evidenciavam, de forma muito clara, o potencial da TVS. Ganhos em produtividade foram obtidos pelo aumento da densidade de plantas de milho em ambientes de alta produtividade, bem como maior rentabilidade foi observada em ambientes de baixa produtividade, quando do uso de menores populações de plantas (Hörbe et al., 2013; Assefa et al., 2016; Schwalbert et al., 2018).

Para a soja, estudos recentes evidenciaram a tendência de que a prescrição para TVS segue uma lógica diferente do milho. Avaliando o desempenho de cultivares de soja em resposta à densidade de semeadura, foram observados que a taxa ótima de sementes foi 18% menor em ambientes de alta produtividade (Produtividade acima de 5 Mg/ha) quando comparado a ambientes de baixa produtividade (Produtividade abaixo de 4 Mg/ha) (Corassa et al., 2018a) (Figura 5A). Por meio de modelos estatísticos utilizando inferência Bayesiana e baseados em um banco de dados de 109 experimentos no sul do Brasil, os autores observaram que ambientes de baixa produtividade atingiram o platô de produtividade com 290.000 sementes/ha (interquartil entre 274 e 303.000), enquanto, para ambientes de alta produtividade, o mesmo foi atingido com 245.000 sementes/ha (interquartil entre 232 e 262.000) (Figura 5A). Em resumo, maior número de sementes por área deve ser prescrito em ambientes de baixa produtividade. Os autores também constataram uma baixa probabilidade de resposta em produtividade com densidades superiores a 330.000 sementes/ha, independente do ambiente de produtividade (Figura 5B).

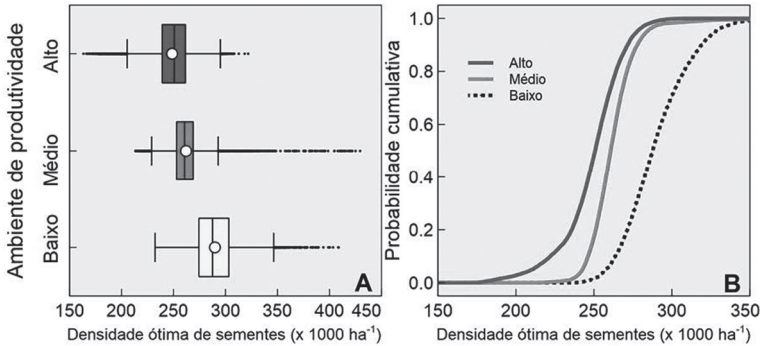


Figura 5. Densidade ótima de sementes (A) para atingir o platô de produtividade em ambientes de baixa (<4 Mg/ha; amarelo), média (4-5 Mg/ha; verde) e alta produtividades (> 5 Mg/ha; azul). Em cada *boxplot*, o retângulo central se estende do primeiro ao terceiro quartil (percentis 25 e 75). O círculo dentro do retângulo representa a média. Barras de erros se estendem entre os menores e os maiores valores não discrepantes. Pontos pretos após a barra de erro indicam valores extremos. Dados gerados a partir de 109 experimentos. Probabilidades preditivas posteriores (B) de a taxa ótima de semeadura atingir o platô de produtividade em ambientes de baixa, média e alta produtividades. Adaptado de Corassa et al. (2018a).

Outra constatação quanto à prescrição da TVS diz respeito à relação entre densidade de sementes e população final de plantas na lavoura, em função do ambiente de produtividade. Uma das hipóteses era de que ambientes de baixa produtividade poderiam conduzir a uma menor taxa da emergência de plantas e, por isso, a necessidade de densidades maiores. Recentemente, em estudo publicado por Carciochi et al. (2019), os autores foram capazes de concluir que, assim como a densidade de sementes (Corassa et al., 2018a), a população final de plantas também deveria ser superior em ambientes de baixa produtividade para maximizar a produtividade. Para o estudo, a população de plantas ótima foi 24% superior em ambientes de baixa produtividade, em comparação aos de alta. Os autores evidenciaram que o potencial produtivo das plantas é, de fato, limitado em ambientes de baixa produtividade, sendo o número de grãos por planta o principal componente do rendimento

de grãos afetado (Carciochi et al., 2019). Apesar da hipótese da menor emergência de plantas em ambientes de baixa produtividade não ser um fator chave apontado pelos estudos, em situações especificadas e quando do conhecimento prático por parte dos produtores, ela poderá ser reconsiderada nas prescrições.

De forma gradual, a TVS plena deve ganhar cada vez mais espaço dentre as práticas de manejo para a cultura da soja, assim como já vem ocorrendo com a cultura do milho. O custo da tecnologia nas semeadoras e as dificuldades quanto ao entendimento claro referente à dinâmica de resposta da cultura atuavam como entraves para sua adoção em larga escala. Contudo, os esforços conjuntos da pesquisa e da indústria de máquinas em prol do avanço da AP na última década, associado aos benefícios econômicos proporcionados pela tecnologia aos produtores, deverão impulsionar a adoção da TVS, assim como de outras ferramentas.

Sensoriamento remoto e uso de veículos aéreos não tripulados (VANT)

Com a crescente demanda por alimentos, houve um impulso na agricultura em termos tecnológicos e de manejo. A AP é uma das áreas que mais tem modernizado e desenvolvido o setor agropecuário na última década. Alguns instrumentos relacionados à AP possibilitaram aumentos significativos na produção, como o uso de mapas que apresentam as variabilidades nas áreas de cultivo, a aplicação de insumos em taxa variável, o emprego de mapas de produtividade e o monitoramento, em tempo real, das condições nutricionais das plantas (Santi et al., 2013).

O sensoriamento remoto é outra ferramenta que vem auxiliando os produtores no aumento das produtividades por meio de mapas de índices de vegetação, monitoramento em tempo real das lavouras e identificação de estresse na cultura (Araujo et al., 2005). A partir dessas informações, pode-se manejar a cultura de forma espacialmente diferenciada, priorizando ou adaptando o

manejo nas áreas que apresentam maiores demandas (Moraes, 2008). Dentro do sensoriamento remoto, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) apresentam muitas aplicações na agricultura, pois os sensores acoplados pelos VANTs captam a reflectância eletromagnética das plantas em diferentes comprimentos de onda ou porções do espectro eletromagnético, sendo que, por meio destes, podem ser estimados parâmetros de produtividade, de desenvolvimento e comportamento das plantas (Rathje & Franke, 2016).

O sensoriamento remoto tem sido mencionado como uma alternativa aos atuais métodos de criação dos mapas de produtividade, uma vez que permite o monitoramento de lavouras em tempo real. A produtividade de uma cultura é estimada por sensores e índices de vegetação, os quais indicam as condições nutricionais e a produção de biomassa do dossel. A partir dessas informações, é possível manejar de forma diferenciada a cultura (Moraes et al., 2008).

Os sensores transportados pelos VANTs captam os diferentes comprimentos de radiação eletromagnética que são refletidos pelas plantas. Estas ondas refletidas são conhecidas por reflectância e abrangem os comprimentos do visível e infravermelho (NIR). A partir destas ondas refletidas, são coletados os valores referentes a cada pixel ou a cada ponto, que então serão utilizados para a determinação dos valores dos diferentes índices de vegetação. O uso de câmeras facilitou a obtenção de imagens que possuem elevada resolução espacial e temporal, visto que a coleta de dados pode ser realizada a qualquer momento durante o desenvolvimento da cultura (Logie & Coburn, 2018).

As câmeras transportadas pelos VANTs podem ser divididas conforme a região do espectro eletromagnético que captam. Câmeras RGB referem-se às câmeras que captam os comprimentos de onda na região do visível, ou seja, vermelho (630-700 nm), verde (490-560 nm) e azul (440-490 nm). Câmeras multiespectrais captam até dez espectros de onda, em geral nas porções do es-

pectro do visível (RGB), borda do vermelho – *Red Edge* (700-750 nm) e infravermelho próximo (760-1200 nm). Já os sensores hiperespectrais conseguem captar diversos comprimentos de onda, normalmente mais de dez (Colomina & Molina, 2014).

O emprego de VANTs na agricultura tornou-se uma alternativa ao uso de imagens obtidas por satélites, onde as principais vantagens são a elevada resolução temporal, uma vez que os voos podem ser realizados quando for necessário ou quando houver a necessidade de maiores informações sobre a cultura, e a alta resolução espacial das imagens (Elarab et al., 2015). Dependendo do sensor embarcado no VANT, pode-se verificar a presença de plantas daninhas nas áreas de cultivo, falhas de semeadura, população de plantas (Figura 6) e estado nutricional das plantas, além de outros estresses bióticos e abióticos.

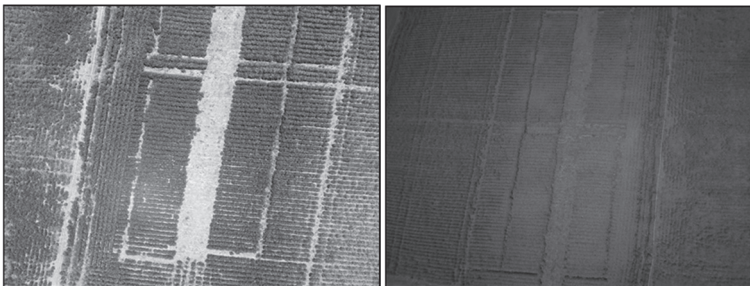


Figura 6. Imagem aérea RGB (esquerda) e imagem falsa-cor NIR-R-G (direita) de cultivares de soja em diferentes populações de plantas (Grupo de Estudos em Agricultura Digital – GEAD/UFRGS, 2020).

Para avaliar a concentração de clorofila nas folhas, as bandas de reflectância nas regiões do visível (principalmente azul e vermelho) são as mais indicadas, pois estas são as que apresentam maiores informações. As estimativas dos teores de clorofila presentes nas plantas auxiliam os produtores a identificar possíveis heterogeneidades em suas lavouras, o que auxilia nas práticas de manejo adequadas de acordo com necessidades específicas de cada área do talhão.

Os dados do NDVI de uma cultura, obtidos a partir de VANTs, estão sendo amplamente utilizados na fenotipagem de plantas. Os resultados já têm sido utilizados para estimar a produtividade de grãos de culturas como o trigo, milho e arroz. Além das caracterizações de plantas, os VANTs possibilitam o emprego de sensores termais, que captam comprimentos de onda acima de 8000 nm, possibilitando a avaliação indireta dos teores de umidade do solo e a evapotranspiração.

O emprego de VANTs na agricultura tem se tornado crucial para a tomada de decisão e o gerenciamento das áreas de cultivo. Estes facilitam a coleta de informações em grandes áreas, não se fazendo necessário o caminhamento para a coleta de informações a respeito do estado da cultura e de sua variabilidade espacial na área cultivada.

Fenotipagem – Uma ferramenta promissora no contexto da AP

Na última década, o uso de ferramentas de fenotipagem utilizadas para estudar fenótipos de plantas em laboratório e em condições de campo vem se tornando uma ferramenta promissora da AP aplicada à cultura da soja. Segundo Granier & Vile (2014), o levantamento das características quantitativas e qualitativas das plantas tem sido de grande importância para a maioria dos estudos em ecologia, agronomia e ecofisiologia, pois permite avaliar a diversidade funcional da planta e comparar o desempenho entre as espécies, ou variedades, e suas interações com o ambiente. As plataformas de fenotipagem existentes realizam análises automatizadas através da tomada de imagens, de acordo com parâmetros pré-selecionadas.

As plataformas de fenotipagem permitem, através de sensores micrometeorológicos, associados a imagens multiespectrais (por exemplo, infravermelho térmico para verificar a temperatura superficial da folha ou do dossel), avaliar a expressão do fenótipo das plantas em um determinado ambiente de produção. A utilização

de imagens termais (índice de calor) indica que, quanto maior a temperatura da folha e do dossel, maior o nível de estresse em que a planta se encontra, possibilitando, por exemplo, a análise do estresse hídrico sofrido pela planta.

Aspectos da morfologia das plantas, comumente utilizadas em triagem para tolerância à seca, são geralmente fáceis de avaliar em condições de campo, podendo ser identificadas pelo movimento da folha, sinalizando a variação do comportamento da área foliar. A diminuição do tamanho e da expansão das folhas pode também ser utilizada como medida de adaptação à seca (Pastenes, 2005).

No estágio vegetativo, a temperatura do dossel apresenta uma tendência de não apresentar diferença significativa com o início de deficiência hídrica. Em função de a planta estar no início do ciclo de desenvolvimento, apresenta área foliar reduzida e, desta forma, o sistema radicular consegue suprir a sua demanda hídrica. A disponibilidade de água no sistema radicular faz com que as folhas reduzam a sua temperatura através da transpiração (Monneveux et al., 2005). Neste período inicial de desenvolvimento (V4-V5), a cultura necessita de 3,0 a 3,5 mm de água/dia, enquanto, no período reprodutivo, a demanda é de 6,5 a 7,5 mm de água/dia.

Quando avaliado o "índice de calor" em cultivares de soja submetidas ao estresse hídrico durante os estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, observa-se que apenas para o estágio reprodutivo o estresse apresenta-se mais drástico, quando comparado ao estágio vegetativo (Figura 7). As imagens termais permitem visualizar a variação de temperatura e das alterações morfológicas nas plantas, como o ângulo foliar, possibilitando identificar o estresse hídrico na planta e a resposta diferencial dos genótipos.

O uso desta ferramenta vem sendo realizado em estudos de resposta de genótipos de soja a estresses bióticos e abióticos (Munns et al., 2010; Lee et al., 2011). As imagens termais têm relação com inúmeras ativi-

dades fisiológicas e bioquímicas das plantas, tais como conteúdo de água, condutância estomática, temperatura e transpiração da folha ou dossel e, conseqüentemente, a taxa fotossintética.

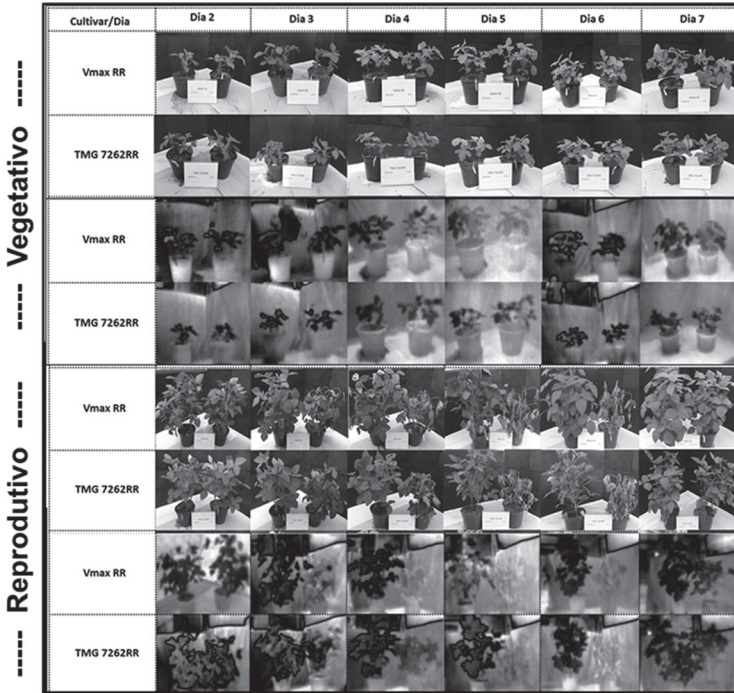


Figura 7. Imagens termais de duas cultivares de soja submetidas aos tratamentos (Irrigado x Estressado), por período de 7 dias, em estádios fenológicos vegetativos (V4-V5) e reprodutivos (R1-R2). Cada imagem individual mostra uma planta irrigada (esquerda) e uma não irrigada (direita).

Conclusões

O avanço tecnológico constante, que é uma das bases da AP, pode oferecer novos caminhos para o aumento do rendimento de grãos e/ou rentabilidade da cultura da soja, por meio de maior eficiência produtiva. Atualmente, existem várias oportunidades de aplicação de ferramentas e metodologias de AP para a cultura da soja, com grande potencial de impacto em função do va-

lor econômico e distribuição geográfica da cultura, com grande variabilidade de situações de cultivo.

É fundamental que cada tecnologia/estratégia seja avaliada quanto a seu nível de desenvolvimento. Em suma, não há um modelo único e pronto para uso que seja aplicável em todas as situações. Em nível de lavoura, é preciso considerar a adoção de tecnologias de acordo com a realidade realmente da propriedade e do sistema de produção. Assim, será possível aumentar o nível de impacto positivo e consolidar a AP como parceira importante da soja no Brasil.

Referências

- AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. Using precision farming to overcome yield-limiting factors in Southern Brazil Oxisols: A case study. In D. CLAY, J. SHANAHAN; J. FRANCIS PIERCE (Eds.), GIS Applications in Agriculture—Nutrient Management for Improved Energy Efficiency, v.3. 3ª ed., p.31–60. CRC: Boca Raton, 2011.
- ARAÚJO, J.C.; VETTORAZZI, C.A.; MOLIN, J.P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, p.437-447, 2005.
- ASSEFA, Y.; VARA PRASAD, P.V.; CARTER, P.; HINDS, M.; BHALLA, G.; SCHON, R.; JESCHKE, M.; PASZKIEWICZ, S.; CIAMPITTI, I.A. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: A synthesis-analysis. **Crop Science**, v.56, p.2802–2817, 2016.
- BOARD, J.E. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant populations. **Crop Science**, v.40, p.1285–1294, 2000.
- CAMICIA, R.G.M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; KONOPATZKI, E.A.; MICHELON, G.K.; PINHEIRO, J.B.S. Productivity of soybean in management zones with application of different sowing densities. **Ciência Rural**, v.48, p.1-9, 2018.
- CARCIOCHI, W. D., SCHWALBERT, R., ANDRADE, F. H., CORASSA, G. M., CARTER, P. R., GASPAR, A. P., SCH-

- MIDT, J; CIAMPITTI, I. A. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. **Agronomy Journal**, v.111, p.1923– 1932, 2019.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.92, p.79–97, 2014.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2021/2022 – décimo levantamento, julho de 2022. Brasília: Conab, v.9, n.10, 2022. 87 p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 11.07.2022.
- CORASSA, G.M.; AMADO, T.J.C.; STRIEDER, M.L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J.L.F.; CARTER, P.R.; CIAMPITTI, I.A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.110, p.2430–2438, 2018a.
- CORASSA, G.M.; SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; REIMCHE, G.B.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M.B.; PIRES, J.L.F. Performance of soybean varieties differs according to yield class: a case study from Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.20, p.520–540, 2018b.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy Journal**, v.103, p.123–128, 2011.
- EGLI, D.B. Plant density and soybean yield. **Crop Science**, v.28, p.977–981, 1988.
- EITELWEIN, M.T.; SANTI, A.L.; GIOTTO, E.; DAMIAN, J.M.; CHERUBIN, M.R.; CORASSA, G.M.; BASSO, C.J.; DELLA FLORA, L.P. Mapeamento da produtividade de grãos e utilização de mapas. In: SANTI, A.L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T.J.C. (Orgs.) Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: CESPOL, 2016. p.99-119.
- ELARAB, M.; TICLAVILCA, A.M.; TORRES-RUA, A.F.; MASLOVA, I.; MCKEE, M. Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution

- imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.43, p.32-42, 2015.
- FERREIRA, A.S.; A. ANTONIO; B. JUNIOR; F. WERNER; C. ZUCARELI; J.C. FRANCHINI; H. DEBIASI. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v.75, p.362-370, 2016.
- GRANIER, C.; VILE, D. Phenotyping and beyond: modelling the relationships between traits. **Current Opinion in Plant Biology**, v.18, p.96-102, 2014.
- HÖRBE, T.A.N.; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ALBA, P.J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, p.450-465, 2013.
- LEE, C.D.; D.B. EGLI; D.M. TEKRONY. Soybean response to plant population at early and late planting dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v.100, p.971-976. 2008.
- LEE, K.J.; LEE, B.W. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. **Journal of Crop Science Biotechnology**, v.14, p.151-155, 2011.
- LOGIE, G.S.J.; COBURN, C.A. An investigation of the spectral and radiometric characteristics of low-cost digital cameras for use in UAV remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v.39, p.1-20, 2018.
- MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.6, p.7-23, 2005.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.
- MONNEVEUX, P.; REYNOLDS, M.P.; TRTHOWAN, R.; GONZÁLEZ-SANTOYO, H. PEÑA R.J.; ZAPATA, F. Relationship between grain yield and carbon isotope dis-

- crimination in bread wheat under four water regimes. **European Journal Agronomy**, v.22, p.192-242, 2005.
- MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; PIE-SANTI. Agricultura de Precisão no controle de plantas daninhas. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.15, p.01-14, 2008.
- MUNNS, R.; JAMES, R.A.; SIRALT, X.R.; FURBANK, R.T.; JONES, H.G. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.3499-3507, 2010.
- PASTENES, C.; PIMENTEL, P.; LILLO, J. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.425-433, 2005.
- PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; MAEHLER, A.R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1541-1547, 2000.
- RATHJE, E.M.; FRANKE, K. Remote sensing for geotechnical earthquake reconnaissance. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v.91, p.304-316, 2016.
- RESENDE, A.V.; HURTADO, S.M.C.; VILELA, M.F.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. In: BERNARDI, A.C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A.V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R.Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p.196-210.
- SANTI, A.L. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. 2007. 150p. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; EITELWEIN, M.T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, R.F.; ROS, C.O. Definição de zonas

de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.510-515, 2013.

SCHWALBERT, R.; AMADO, T.J.C.; HORBE, T.A.N.; STEFANELLO, L.O.; ASSEFA, Y.; PRASAD, P.V.V; RICE, C.W.; CIAMPITTI, I.A. Corn yield response models to plant density and N rates: Understanding data distribution. **Agronomy Journal**, v.110, p.1-13, 2018.

SHANAHAN, J.F.; DOERGE, T.A.; JOHNSON, J.J.; VIGIL, M.F. Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the great plains. **Precision Agriculture**, v.5, p.207-225, 2004.

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DA SOJA SOB ALAGAMENTO DO SOLO

Marcos Paulo Ludwig^{1*}

¹ Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), R. Nelsi Ribas Fritsch, 1111 CEP: 98200-000, Esperança, Ibirubá - RS, Brasil. E-mail: marcosludwig1@gmail.com.br

Introdução

É crescente o uso da cultura da soja em locais com possibilidade de alagamento do solo, fato este que esta relacionado a grande área com solos aluviais e hidromórficos. No Brasil, estima-se que haja cerca de 28 milhões de hectares de solos sujeitos ao alagamento (MAGALHÃES et al., 2005). Além disso, a cultura da soja é uma das alternativas importantes dentro do sistema produtivo do arroz irrigado, pois é alternativa no sistema de rotação de cultura, pois permite o controle de plantas daninhas importantes com o arroz vermelho. Utilizando com base o Rio Grande do Sul o qual teve um aumento de 300000 ha na safra 2010/2011 para 600000 ha na safra 2012/2013 (GAZOLLA NETO & SCHUCH, 2013).

Em todas as regiões do país existem solos com características hidromórficas. Estes são encontrados, principalmente, nos ecossistemas de várzeas, formados por planícies de rios, lagoas e lagunas, apresentando como característica comum, a formação em condições variadas de deficiência de drenagem. No Rio Grande do Sul estes solos ocupam uma área de 5,4 milhões de hectares, enquanto que em Santa Catarina ocupam uma área de 685 mil hectares (EMBRAPA, 2005). Em outros locais a preocupação com os efeitos do alagamento do solo também são levantados SHIMAMURA et al., (2002), considera um dos principais problemas no cultivo da soja o alagamento do solo, devido a redução da fixação de nitrogênio ou pela redução do oxigênio nas raízes, já SERRES & VOESENEK (2008) mencionam que as inundações é um dos principais stress ambiental para muitos ambientes e ecossistemas do mundo todo.

Mesmo não sendo o ambiente ideal para o cultivo da soja os produtores vêm utilizando-a em sucessão ao arroz irrigado. Problemas relacionados à baixa condutividade hidráulica do solo são freqüentes em períodos de precipitação pluviométrica elevada, não somente em solos com possibilidade de alagamento, mas em regiões com solo com baixa capacidade de drenagem. Nestas condições o desempenho da cultura é afetado, pois o encharcamento modifica a atmosfera do solo, promove deficiência de O_2 , acúmulo de CO_2 , de metano, de etileno, de gás sulfídrico (H_2S), e redução da respiração aeróbica (PIRES et al., 2002). Em plantas sensíveis estas condições resultam em reduções na produtividade da cultura além de alterações no metabolismo das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2009. DREW, 1997; SERRES & VOESENEK, 2008; JACKSON & COLMER, 2005; YORDANOVA & POPOVA, 2007).

A extensão de danos ocasionados pelo encharcamento do solo depende de vários fatores, como duração do período de inundação, estágio de desenvolvimento da planta em que ele ocorre, espécie e/ou cultivar e condições ambientais, como temperatura e conteúdo de dióxido de carbono. Entre as espécies produtoras de grãos, o milho, o sorgo e a soja são as principais opções para a diversificação do sistema de produção em rotação com o arroz irrigado (SILVA & PARFITT, 2004).

Diversidade genética pode resultar em respostas diferentes das plantas à inundação inclui alterações na arquitetura, no metabolismo, e alongamento do crescimento (SERRES & VOESENEK, 2008; MOMMER et al., 2006). Desta forma o sucesso do cultivo sobre condições de alagamento requer estudos para avaliar cultivares que possuam capacidades diferenciadas de tolerância ao encharcamento a fim de apresentar uma menor redução de rendimento. A avaliação da diversidade expõe a plasticidade no metabolismo e desenvolvimento e aclimação dos genótipos o que permitem observar distintas estratégias de aumento na adaptação as condições de alagamento do ambiente, possibilitando detectar traços de tolerância (SERRES & VOESENEK, 2008).

Plantas diferem amplamente na sua capacidade de adaptação à deficiência de oxigênio (COLMER, 2003; JACKSON & COLMER, 2005; MOMMER et al., 2006), e a maioria das espécies de plantas que não estão adaptadas à inundação do solo apresentam sintomas como lesão, murchamento, senescência foliar. As respostas fenotípicas são diferentes quando comparados grupos com hábito de solo alagado e de sequeiro, quando estas permanecem sob alagamento as espécies mais adaptadas apresentam maior altura, área foliar específica, teor de clorofila, teor de aerênquima e mais longevidade das folhas nos ecossistemas (MOMMER et al., 2006). VANTOAI et al. (1994), trabalhando com 84 cultivares de diferentes grupos de maturação, observaram que as cultivares em condição de alagamento produzem 25% a menos que em condição normal e que existe diferença nas capacidades de resistir a inundação conforme a cultivar. Algumas espécies, contudo, desenvolveram mecanismos de adaptações morfológicas, metabólicas e anatômicas específicas (VARTAPETIAN & JACKSON, 1997), que permitem tolerância ao encharcamento, assim podendo sobreviver sob grandes estresses.

Dado o cenário de mudança climática global que prever precipitação intensa nas regiões do nosso planeta (SERRES & VOESENEK, 2008), isto é provável que dê origem de inundações mais freqüentes nas planícies de inundação dos rios e terras aráveis, afetando principalmente os agricultores dos países mais pobres do mundo (ARNELL & LIU, 2001). Assim compreensão da ecologia de plantas em ambientes propensos inundações e da fisiologia dos aspectos de aclimatação da planta a adaptação às inundações, em todos os níveis da planta são de importância principalmente para a identificação de genótipos mais tolerantes (JACKSON; COLMER, 2005).

Estudos avaliando varias características e as inter-relações entre essas características e seus efeitos sobre o desempenho das plantas ainda permanecem desconhecidos. Juntamente com a compreensão mais coerente da tolerância a submersão, através da investi-

gação se características diferentes e de estratégias alternativas para aumentar a sobrevivência em água ou seus efeitos em conjunto são de importância porque as respostas a submersão pode ser distintas (MOMMER et al., 2006).

Alterações Morfofisiológicas

Problema de excesso de água no ambiente pode estar relacionado com a sazonalmente flutuante dos lençóis freático, inundações esporádicas, e de áreas ribeirinhas, ou falta de drenagem, quando ocorre excesso da precipitação. Soluções para os problemas ocasionados pelo estresse por inundação estão no centro de varias trabalhos buscando melhorar a produção de cereais. Graus de tolerância ao alagamento surgem conjuntamente com características constitutivas, resultado da plasticidade fenotípica, e a adaptativa é revelada através da interação planta-ambiente (JACKSON et al., 2009). Quando o solo se torna excessivamente molhado, a transferência de O_2 do ar para o solo é alterado, pois os poros do solo, que são geralmente estão cheios de ar ficam cheio de água. Sem reposição do ar, qualquer O_2 dissolvido, remanescente no solo é rapidamente consumida por microorganismos e/ou plantas, no entanto o solo não é mais capaz de fornecer O_2 (DREW et al., 2000).

Quando as plantas passam por períodos de alagamento do solo mecanismos morfológicos de tolerância são ativados, o desenvolvimento de aerênquima que são vias internas de aeração (VARTAPETIAN & JACKSON, 1997; VIDEMŠEK et al., 2006; COLMER, 2003; THOMAS et al., 2005) e a formação de raízes adventícias na base aérea (VARTAPETIAN & JACKSON, 1997; PIRES et al., 2002; THOMAS et al., 2005) são iniciados. Em solos alagados a formação de aerênquima em espécies de plantas tolerantes é um processo que pode ocorrer em raízes, nódulos, rizomas, caules e folhas submersas (JUSTIN & ARMSTRONG, 1987; DREW, 1997; DREW et al., 2000; SCHUSSLER & LONGSTRETH, 2000; GIBBERD et al., 2001).

Os aerênquimas têm papel importante no transporte interno de oxigênio entre as raízes e do meio ambiente aéreo. Os aerênquimas são formados como parte da normal do desenvolvimento ou em resposta ao estresse. A formação de aerênquima aumenta a porosidade das estruturas onde eles estão presentes (VIDEMŠEK et al., 2006; COLMER, 2003; DREW et al., 2000). A formação de aerênquima faz parte do desenvolvimento normal em resposta ao estresse ocasionado pelo excesso de água, segundo CHOI & ROBERTS (2007); EVANS (2003); DREW et al. (2000); JUSTIN & ARMSTRONG (1987) existem dois mecanismos principais de formação de aerênquima um que está relacionado com a separação de células (Schizogenous) e outro com a morte das células (Lysigenous) e assim criando o espaço. No entanto um terceiro tipo de aerênquima é descrito por SEAGO et al. (2005) que é caracterizado por espaços intercelulares com gás que se desenvolvem através da expansão das células (Expansigenous), sem separação de células ou morte. Baixa concentração de O_2 e o aumento do etileno são mencionados por DREW (2000) como as principais causas do desenvolvimento de aerênquima.

Ambos os tipos de aerênquima podem ocorrer na mesma planta e o do tipo relacionado com a separação de células na maioria das vezes precede a ocorrência do outro no mesmo órgão (JUSTIN E ARMSTRONG, 1987; DREW et al., 2000). Já SEAGO et al. (2005) descrevem padrões desenvolvimento de aerênquima em 85 espécies de representativas 41 famílias de plantas do pantanal e concluem que o processo básico de criação dos espaços envolve uma combinação de expansão celular e divisão.

Existem mecanismos adaptativos nas plantas para tolerar a deficiência de O_2 . O arroz tem a capacidade de transferir O_2 da atmosfera para as raízes, através das folhas e do caule. Nas raízes, este é excretado na rizosfera, formando uma região de oxidação, e assim, reduzindo o efeito ou a disponibilidade de substâncias

tóxicas (Fe^{2+} e Mn^{2+}). Da mesma forma, a soja apresenta mecanismos adaptativos a condições de solo inundado, que lhe permitem sobreviver em condições de restrição de O_2 . Alternativamente, o aumento da tolerância, pelo aumento na formação de aerênquima, pode requerer alterações genéticas para produzir um aerênquima constitutivo (BACANAMWO & PURCELL, 1999 a).

Os aerênquimas são de grande importância na cultura para que estas sobrevivam em alagamento. Assim o entendimento da regulação do seu desenvolvimento é importante (EVANS, 2003). Pois segundo JUSTIN & ARMSTRONG (1987); EVANS (2003); JACKSON et al. (2009), a tolerância a hipóxia pode estar diretamente relacionado à eficiência de ventilação que é adquirido através do desenvolvimento de espaços de ar dentro do tecido. Pois estes espaços permitem a interligação intercelular que permitem a difusão de dos gases JACKSON & COLMER (2005). Segundo VISSER et al. (2000) possivelmente com o aumento da quantidade de aerênquima em raízes a porosidade é aumenta isso aumenta o diâmetro melhorada a aeração interna das raízes.

Efeitos da inundação do solo sobre a cultura da soja são mencionados por diversos autores. O excesso de água no solo prejudicou o processo de fixação biológica de N_2 em plantas de soja (SCHOLLES & VARGAS, 2004; BACANAMWO e PURCELL, 1999 b; JUNG et al., 2008). Porém, no caso das leguminosas, estudos demonstraram os efeitos benéficos do aerênquima para fixação de N_2 em condições alagadas (JAMES & CRAWFORD, 1998; BACANAMWO & PURCELL, 1999b; SHIMAMURA et al., 2002), fornecendo um caminho para a difusão dos gases para os nódulos submersos.

Efeitos da inundação do solo sobre plantas de soja foram observados por PIRES et al. (2002) que constatou mudanças anatômico-morfológicas adaptativas a esse ambiente. A formação de rachaduras no caule na região submersa poucas horas após a inundação, alargamento e formação de uma região esponjosa na base

do caule, surgimento de raízes adventícias, morte da raiz principal, e formação de aerênquimas foram algumas das modificações constatadas pelos autores. Também mencionaram que a identificação de genótipos de soja tolerantes à inundação pode requerer a seleção de plantas que consigam manter o crescimento nessas condições, o que é proporcional às mudanças que ocorrem na morfologia das raízes.

BACANAMWO & PURCELL, (1999 a) observaram redução da área foliar e da área foliar específica, e aumento da porosidade das raízes de soja que foram submetidas a alagamento do solo. Em plantas de soja quando a zona radicular está com uma concentração elevada de CO_2 , ocorre uma redução da taxa de transpiração, que é resultante do fechamento estomacal (ARAKI, 2005). ROSA, et al. (2007), trabalhando com dez cultivares de soja observaram redução significativa da massa seca de raiz e folhas com tratamento de inundação. SEVERO et al. (2007) observaram que a inundação afetou negativamente sete das dez cultivares para a variável área foliar. Nove cultivares sofreram efeito negativo do alagamento para a variável massa seca de parte aérea e o volume do sistema radicular foi afetado negativamente em todas as cultivares. Outros autores observaram efeito semelhante para área foliar e volume do sistema radicular (ZENZEN et al., 2007).

Trabalhando com diferentes cultivares de soja, colocadas sob alagamento em diferentes estádios fenológicos por períodos de tempo diferentes SCOTT et al., (1989) observaram que ocorreu resposta diferenciada entre cultivares para altura do dossel das plantas, em função do estágio fenológico e do período de inundação. Ocorre também redução da estatura de plantas quando estas são expostas ao alagamento (CHO & YAMAKAWA, 2006).

SULLIVAN et al. (2001) observaram redução da concentração de nitrogênio no tecido de folha com o aumento no período de alagamento. AMARANTE et al. (2007) detectaram redução do pigmento clorofila a e b

em plantas de soja que passaram por regime hídrico de inundação do solo. Segundo DAT et al. (2004) para uma planta sobreviver em condição de alagamento é necessário um controle do metabolismo que está relacionado com o metabolismo de energia, disponibilidade de fontes de energia, e proteção após o dano por falta de oxigênio.

A clorofila é um pigmento típico de organismos fotossintetizantes, tendo como objetivo o processo de fotossíntese. A clorofila fica estruturada dentro dos cloroplastos, a manutenção dela depende da presença de luminosidade. Os cloroplastos permanecendo no escuro podem ser revertidos em estiloplanstos, os cloroplastos também podem ser convertidos em cromoplastos (TAIZ & ZEIGER, 2009). Desta maneira os cloroplastos podem ser transformados em outras estruturas e em condições de estresse estes podem ser degradados.

As inundações generalizadas reduzem drasticamente o crescimento e a sobrevivência de plantas terrestres. A redução drástica na difusão de gás em água em comparação com ar é um grande problema para as plantas terrestres e limita a entrada de CO_2 para a fotossíntese e de O_2 para a respiração (VOESÉNEK et al., 2006). CHO & YAMAKAWA (2006) trabalharam com períodos de alagamento no solo de três, cinco, sete e nove dias no estádio de V5-V6, e somente não constaram redução na taxa fotossintética após a retirada da água para o tratamento com três dias de alagamento. Os autores também constataram forte correlação entre a taxa fotossintética e o rendimento de grãos aos nove dias de alagamento desta maneira maiores valores da taxa fotossintética resultam em maior produção.

Avaliação de genótipos de soja em área de arroz irrigado

A cultura da soja é uma das alternativas importantes dentro do sistema produtivo do arroz irrigado, pois é alternativa no sistema de rotação de cultura e permite o controle de plantas daninhas importantes com o arroz vermelho. Fato que vem dificultado o cultivo da

soja nestas áreas é o excesso de precipitação hídrica que resulta em períodos de alagamento do solo, quando a cultura esta implanta. Como efeitos do alagamento podemos citar a redução na área foliar (ZENZEN et al., 2007), redução da capacidade de fotossíntese (SERRES & VOESENEK, 2008), redução da concentração de nitrogênio no tecido foliar (SULLIVAN et al., 2001) e redução dos pigmentos clorofila a e b em plantas de soja submetidas a inundação do solo (AMARANTE et al., 2007).

Outras características morfologia são afetadas com redução na altura de plantas (CHO & YAMAKAWA, 2006), formação de aerênquima (JUSTIN & ARMSTRONG, 1987; DREW et al., 2000). Considerando a soja uma espécie pode responder a esta condição de alagamento do solo e pela diversidade genética presente na cultura, as respostas das plantas à inundação podem ser diversas. Pode ser incluindo alterações na arquitetura, no metabolismo e no alongamento do crescimento (SERRES & VOESENEK, 2008).

As mudanças nas plantas devido ao alagamento afetam negativamente a produtividade da cultura da soja. Poucos estudos relacionam estes parâmetros com a produtividade de grãos da cultura em condição de estresse. Desta forma parâmetros que possam estimar a área foliar, teor de clorofila, altura de plantas e formação de aerênquimas têm importância para estimar a capacidade de genótipos em tolerar o alagamento do solo. Estas características podem auxiliar na seleção mais precoce de genótipos que podem ter sucesso nesta condição ambiental.

Trabalho desenvolvido com trinta genótipos de soja sob condição normal de cultivo (sem alagamento); alagamento no período vegetativo, por oito dias, quando as plantas encontravam-se no estágio V3/V4; alagamento no período reprodutivo, por cinco dias, quando as plantas encontravam-se no estágio R2/R3, segundo escala de FEHR & CAVINESS (1977).

Diversas variáveis obtidas de LUDWIG (2010) forma correlacionadas com a produtividade de grãos. As quais puderam ser estratificadas como:

Correlacionadas com a produtividade ++
 Pouco correlacionadas +
 Correlação negativa - -
 Pouca correlação negativa -
 Não correlacionada o

Tabela 1. Correlações entre produtividade de grãos e: altura de planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), índice do teor de clorofila (ITC), redução índice do teor de clorofila (RITC) e taxa de cobertura do solo (TCS) de cultivares de soja de ciclo precoce e ciclo médio, mantidas sob alagamento do solo por oito dias no estádio vegetativo (V3/V4). 2009/10.

	Precoces	<u>Produtividade de grãos</u>	Médias
AP	o		+
DHP	++		o
ITC - Antes ¹	o		o
ITC - 5 DAEA ²	o		+
ITC - 12 DAEA	++		+
ITC - 19 DAEA	++		o
ITC - 33 DAEA	o		+
RITC - 5 DAEA	--		-
RITC - 12 DAEA	--		--
RITC - 19 DAEA	--		o
RITC - 33 DAEA	-		--
TCS - Antes	o		o
TCS - 14 DAEA	++		++
TCS - 21 DAEA	++		+
TCS - 28 DAEA	++		+
TCS - 35 DAEA	++		+
TCS - 42 DAEA	++		o
TCS - 49 DAEA	++		++
TCS - 63 DAEA	++		+
TCS - 77 DAEA	++		+

¹ Antes do alagamento; ² DAEA: Dias após a entrada de água.

Correlacionadas com a produtividade ++; Pouco correlacionadas +; Correlação negativa - -; Pouca correlação negativa - Não correlacionada o. AP: determinada por paquímetro; ITC: medido com o aparelho "CCM-200 Chlorophyll Meter"; TCS: avaliada utilizando grade de 0,50 m X 1,0 m com 50 células.

Tabela 2. Correlações entre produtividade de grãos e: altura de planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), índice do teor de clorofila (ITC), redução índice do teor de clorofila (RITC) e taxa de cobertura do solo (TCS) de cultivares de soja de ciclos precoce, médio e tardias, mantidas sob alagamento do solo por cinco dias no estágio reprodutivo (R2/R3), em 2009/10.

	Ciclo Precoce	Produtividade de grãos	
		Ciclo Médias	Ciclo Tardio/semítardio
AP	0	0	0
DHP	++	0	0
ITC - Antes ¹	0	0	0
ITC - 5 DAEA ²	0	0	0
ITC - 12 DAEA	0	0	0
ITC - 19 DAEA	++	0	0
ITC - 33 DAEA	++	++	0
RITC - 5 DAEA ²	0	0	0
RITC - 12 DAEA	0	0	0
RITC - 19 DAEA	++	0	0
RITC - 33 DAEA	-	-	0
TCS - Antes	0	0	0
TCS - 7 DAEA	++	++	0
TCS - 14 DAEA	+	+	+
TCS - 28 DAEA	++	++	++

¹ Antes do alagamento; ² DAEA: Dias após a entrada de água.

Correlacionadas com a produtividade ++; Pouco correlacionadas +; Correlação negativa - -; Pouca correlação negativa - Não correlacionada o. AP: determinada por paquímetro; ITC: medido com o aparelho "CCM-200 Chlorophyll Meter"; TCS: avaliada utilizando grade de 0,50 m x 1,0 m com 50 células.

Para as cultivares de ciclo precoce não foi observado correlação significativa entre rendimento e altura de plantas (Tabela 1), já para as cultivares de ciclo médio esta correlação foi significativa. Correlações da AP com a produtividade da soja submetida ao alagamento do solo por cinco dias no período reprodutivo demonstraram que não houve correlação entre aquele e AP independentemente do ciclo das cultivares (Tabela 2). Para ambos os tratamentos a correlação da altura de planta com a produtividade foi positiva, resultado que demonstra que plantas maiores tendem a apresentar uma maior produtividade, fato que deve estar relacionado com o menor redução da altura de plantas provocada pelo alagamento do solo, pois o alagamento resulta em uma significati-

va diminuição média na AP da soja CHO & YAMAKAWA (2006) e VANTOAI et al. (2001), assim cultivares mais tolerantes crescem em taxas maiores que as menos tolerantes em condição de estresse por alagamento.

Para o DHP foi constatado correlação significativa nas cultivares de ciclo precoce, indicando que esta característica pode ser importante para a seleção de cultivares deste ciclo sob alagamento do solo em estágio vegetativo. No entanto, com o alagamento no período vegetativo as cultivares de ciclo médio não apresentaram correlação com produtividade de grãos. Na avaliação no estágio reprodutivo somente foi constatada correlação significativa entre a produtividade de grãos e DHP (Tabela 2) para as cultivares de ciclo precoce. Os dados demonstram que em cultivares de ciclo precoce o DHP pode ser importante no momento da seleção de cultivares precoces sob alagamento do solo em estágio vegetativo e reprodutivo, confirmando os resultados apresentados por PIRES et al. (2002). No entanto para as cultivares de ciclo médio e tardio esta característica não demonstrou correlação.

Na avaliação no estágio vegetativo o índice do teor de clorofila (Tabela 1) das cultivares de ciclo precoce correlacionou-se com a produtividade nas avaliações aos 12 e 19 DAEA e, para as cultivares médias, aos 12 e 33 DAEA. Na avaliação no estágio reprodutivo o índice do teor de clorofila apresentou correlação com a produtividade nas avaliações aos 19 DAEA e 33 DAEA (Tabela 2), para as cultivares de ciclo precoce. Os genótipos de ciclo médio demonstraram correlação entre a produtividade e ITC somente na avaliação aos 33 DAEA (Tabela 1). Já para os genótipos de ciclo tardio não foi constatado correlação entre o ITC e a produtividade de grãos em nenhuma época de avaliação.

Esse resultado demonstra que o parâmetro se apresenta como promissor para seleção de genótipos mais produtivos para cultivares de soja, confirmando a correlação positiva entre clorose e suscetibilidade a alagamento (VANTOAI & NURJANI, 1996). Assim, estudos do índice do teor da clorofila mostram-se promissores

para buscar a seleção de plantas mais precocemente, na condição de alagamento.

A correlação da produtividade com os valores da redução do índice do teor de clorofila (Tabela 1 e 2) foram negativos para a maioria das avaliações. Resultado que é explicado pelo fato de quanto menor for a redução no ITC maior será a tolerância ao alagamento e consequentemente maior a produtividade. Na avaliação no estágio vegetativo (Tabela 1) somente para as cultivares média aos 19 DAEA não apresentou correlação significativa. Na avaliação no estágio reprodutivo (Tabela 2) somente foi constatado correlação significativa para os genótipos precoces ao 19 e 33 DAEA e para as médias aos 33 DAEA.

Redução na concentração de clorofila em plantas que sofreram alagamento foram observadas por LADYGIN (2004); CHO & YAMAKAWA (2006), AMARANTE et al. (2007) e YORDANOVA & POPOVA (2007), essa redução acaba afetando a capacidade fotossintética de plantas assim afetando a produtividade das culturas. Para sobreviver as plantas em condição de alagamento necessitam de um controle do seu metabolismo que está relacionado com o metabolismo energético, disponibilidade de fontes de energia, e proteção após o dano por falta de oxigênio (DAT et al., 2004).

Uma das reações das plantas à inundação é a redução da capacidade de fotossíntese promovida pelas alterações dos estômatos e pelas baixas concentrações de CO₂, condutância estomática e intercelular de plantas (PEZESHKI, 2001; JACKSON & COLMER, 2005; YORDANOVA & POPOVA, 2007; SERRES & VOESENEK, 2008; ELSE et al., 2009). Após a inundação prolongada há formações de lesões radiculares que também contribuem para a diminuição da capacidade fotossintética (YORDANOVA & POPOVA, 2007). No entanto, se a cultivar de soja permanecer com taxas elevadas de fotossíntese, isso pode resultar em produtividades mais elevadas (JUNG et al., 2008).

A taxa de cobertura do solo apresentou correlação positiva com o rendimento de grãos para as cultivares precoces em todas as datas de avaliações (Tabela 1). Nas cultivares de ciclo médio somente não houve correlação significativa na avaliação realizada aos 42 dias após a entrada da água (DAEA). Para a avaliação no estágio reprodutivo foi constatada correlação da taxa de cobertura com a produtividade (Tabela 2) nos genótipos precoces e médios em todas as avaliações após o alagamento do solo. Já para os genótipos tardios e semitardios somente não foi observada correlação aos 7 DAEA. Portanto a taxa de cobertura pode ser considerada promissora para a avaliação de genótipos promissores sobre condição de alagamento do solo.

A taxa de cobertura do solo tem relação com a área foliar, assim espécies adaptadas sob condições de alagamento apresentam maior altura de planta, área foliar específica, teor de clorofila, conteúdo de aerênquima e longevidade das folhas (MOMMER et al., 2006). Cultivares com maior taxa de cobertura em tese apresentam maior tolerância ao alagamento do solo, pois redução na área foliar é comumente observada em condição de alagamento do solo (MOMEN et al., 1979, BACANAMWO & PURCELL, 1999, ZENZEN et al. 2007)

A redução da produtividade pode ter relação com o fechamento estomático, pois este processo causa alteração metabólica ocasionando redução da incorporação de CO₂ nas folhas (LIAO & LIN, 2001; ARAKI, 2006) afetando diretamente a capacidade de fotossíntese, pelas baixas concentrações de CO₂ no tecido foliar (PEZESHKI, 2001; YORDANOVA & POPOVA, 2007). Também JACKSON & COLMER (2005); SERRES & VOESENEK (2008); ELSE et al. (2009) concordam que um dos efeitos do alagamento é a redução da capacidade de fotossíntese das plantas. Além do efeito ocasionado pelo fechamento estomático o alagamento também reduz o pigmento clorofila (LADYGIN, 2004; AMARANTE et al., 2007; YORDANOVA & POPOVA, 2007) e área foliar (BACANAMWO

& PURCELL, 1999) o que também afeta a capacidade fotossintética da cultura, modificando tanto o crescimento com o potencial produtivo da cultura da soja. As avaliações realizadas no trabalho proporcionam uma análise de forma indireta dos pontos abordados acima.

A redução da produtividade pode ter relação com o fechamento estomático, pois este processo causa alteração metabólica ocasionando redução da incorporação de CO₂ nas folhas (LIAO & LIN, 2001; ARAKI, 2006) afetando diretamente a capacidade de fotossíntese, pelas baixas concentrações de CO₂ no tecido foliar (PEZESHKI, 2001; YORDANOVA & POPOVA, 2007). Também JACKSON & COLMER (2005); SERRES & VOESENEK (2008); ELSE et al. (2009) concordam que um dos efeitos do alagamento é a redução da capacidade de fotossíntese das plantas. Além do efeito ocasionado pelo fechamento estomático o alagamento também reduz o pigmento clorofila (LADYGIN, 2004; AMARANTE et al., 2007; YORDANOVA & POPOVA, 2007) e área foliar (BACANAMWO & PURCELL, 1999) o que também afeta a capacidade fotossintética da cultura, modificando tanto o crescimento com o potencial produtivo da cultura da soja. As avaliações realizadas no trabalho proporcionam uma análise de forma indireta dos pontos abordados acima.

Considerações finais

Genótipos que apresentam maior tolerância ao alagamento deverão ser desenvolvidos pelas empresas de pesquisa para atender a demanda na área com possibilidade de alagamento do solo. Os parâmetros que apresentaram correlação podem auxiliar na seleção de genótipos mais promissoras para cultivo em áreas com possibilidade de alagamento do solo. Cabe ressaltar que as avaliações em períodos mais precoces como no estágio vegetativo pode aumentar a eficiência no processo de seleção, pois possibilita uma mais rápida identificação de genótipos mais promissores.

Referências

- AMARANTE, L. DO; COLARES, D.DOS S.; OLIVEIRA, M. L.; ZENZEN, I. L.;, BADINELLI, P. G.; BERNARDI, E. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 906-908, 2007.
- AMARANTE, L.; SODEK, L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. **Biologia Plantarum**, v.50, n. 3, p. 405-410, 2006.
- APOGEE INSTRUMENTS. 2006. **Chlorophyll Concentration Meter**. Disponível: <http://www.apogeeinst.com/CCM_techinfo.htm> Acesso: outubro de 2007.
- ARAKI, H. Water uptake of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during exposure to O₂ deficiency and field level CO₂ concentration in the root zone. **Field Crops Research**, v. 96, p.98-105, 2006.
- ARNELL N, LIU C. **Climate change 2001: hydrology and water resources**. In Report Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Disponível em http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm, Acesso em:16 de março de 2010.
- BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources and hypoxia. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p.689-696, 1999(b). Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/reprint/50/334/689>, Acesso em 14 de mar
- BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crop Science**, v.39, n.1, p.143-149, 1999(a).
- BIBER, P.D. Evaluating a chlorophyll content meter on three coastal wetland plant species. **Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences**. v.1, n. 2, 2007. Disponível em: < <http://www.scientific-journals.org/journals2007/articles /1247.pdf>> Acesso em: novembro 2009.

- CHO, J.; YAMAKAWA, T. Effects on Growth and Seed Yield of Small Seed Soybean Cultivars of Flooding Conditions in Paddy Field. **Journal of the Faculty of Agriculture**, Kyushu, v.51, n. 2, p. 189–193, 2006.
- CHOI, W. G.; ROBERTS, D. M. Arabidopsis NIP2;1: a major intrinsic protein transporter of lactic acid induced by anoxic stress. **Journal of Biological Chemistry**, v.282, n.33, p.24209–24218, 2007. Disponível em: www.jbc.org, Acesso em: 16 de mar 2010, doi 10.1074/jbc.M700982200.
- COLMER, T. D. Long – distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p.17-36, 2003. Disponível em: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/118877756/PDFSTART>, Acesso em: 14 mar 2010.
- DAT, J. F. ; CAPELLI, N.; FOLZER, H.; BOURGEADE, P.; BADOT, P. M. Sensing and signalling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.42, p. 273–282. 2004.
- DREW M.C. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annal Reviews Plant Physiology Plant Molecular Biologist**, v.48, p.223-250, 1997. Disponível em: http://aggiehorticulture.tamu.edu/syllabi/610/Assignments/Injury_and_Acclimation_under_hypoxia_and_anoxia.pdf, Acessado em: 14 mar 2010. doi:10.1146/annurev.arplant. 48.1.223
- DREW, M. C.; HE, C. J.; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science**, v.5, n.3, p.123-127. 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10707078>, Acesso em: 14 de mar de 2010.
- ELSE, M. A.; JANOWIAK, F.; ATKINSON, C. J.; JACKSON, M. B. Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants. **Annals of Botany**, v.103, p.313–323, 2009. Disponível em: www.aob.oxfordjournals.org, Acesso em: 14 de mar de 2010. doi:10.1093/aob/mcn208.

- EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, Sistemas de Produção 3. 2005.
- EVANS, D.E. Aerenchyma formation. Transley review. **New Phytologist**, v.161, p. 35-49, 2003. Disponível em: www.newphytologist.org, Acesso em: 14 de mar de 2010. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00907.x
- FEHR, W. CAVINESS, R. H. **Stages of soybean development**. Special Report 80. Iowa State University Ames, Iowa, 1977.
- GASTAL, M. F. da C.; BRANÇÃO, N.; VERNETTI, F. de J. Indicação de cultivares de soja para terras baixas. **Agropecuária de Clima Temperado**, v.1, n.1, p.95-99, 1998.
- GAZOLLA NETO, A.; SCHUCH, L.O.B. Produção de semente e o avanço da soja na Metade Sul do Rio Grande do Sul. **Seed News**, v.17, n.3, p.36- 37, 2013.
- GIBBERD, M. R.; GRAY, J. D.; COCKS, P. S.; COLMER, T. D. Waterlogging tolerance among a diverse range of *Trifolium* accessions is related to root porosity, lateral root formation and 'aerotropic rooting'. **Annals of Botany**, v.88, p.579-589 2001. Disponível em: <http://www.idealibrary.com>, Acesso em: 14 de mar 2010. doi:10.1006/anbo.2001.1506
- JACKSON, M. B. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. **Annual Reviews Plant Physiology**, v.36, p.145-174. 1985. Disponível em: www.ajournals.annualreviews.org, Acesso em 16 de mar 2010.
- JACKSON, M. B.; COLMER, T. D. Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. **Annals of Botany**, v.96, p.501-505, 2005. Disponível em: www.aob.oxfordjournals.org, Acesso em: 14 mar 2010. doi:10.1093/aob/mci205.
- JACKSON, M. B.; ISHIZAWA, K.; ITO, O. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. **Annals of Botany**, v.103, p.137-142, 2009. Disponível em: www.aob.oxfordjournals.org, Acesso em: 14 de mar 2010. doi:10.1093/aob/mcn242.

- JAMES, E. K.; CRAWFORD, R. M. M. Effect of oxygen availability on nitrogen fixation by two *Lotus* species under flooded conditions. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.599–609, 1998. Disponível em: <http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/reprint/49/320/599>, Acesso em: 22 de mar de 2010.
- JUNG, G.; MATSUNAMI, T.; OKI, Y.; KOKUBUN, M. Effects of Waterlogging on Nitrogen Fixation and Photosynthesis in Supernodulating Soybean Cultivar Kanto 100. **Plant Production Science**, v. 11, n. 3 p.291-297, 2008. Disponível em: http://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/11/3/291/_pdf, Acesso em: 14 de mar 2010. doi:10.1626/pps.11.291.
- JUSTIN, S. H. F. W.; ARMSTRONG, W. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. **New Phytologist**, v.106, p. 465–495, 1987. Disponível em: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/119470477/PDFSTART>, Acesso em: 14 de mar 2010. doi: 10.1111/j.1469-8137.1987.tb00153.x
- LADYGIN, V. G. The Effect of Root Hypoxia and Iron Deficiency on the Photosynthesis, Biochemical Composition, and Structure of Pea Chloroplasts. **Russian Journal of Plant Physiology**. v.51, n. 1, p.28–40, 2004. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/u385606t5341g16h/fulltext.pdf>, Acesso em: 14 de mar 2010.
- LIAO, C.-T.; LIN, C.-H. Physiological Adaptation of Crop Plants to Flooding Stress **Proc Natl Sci Coun Repub China**, v. 25, n.3, p.148-157, 2001. Disponível em: http://www.plantstress.com/articles/waterlogging_m/crop%20tolerance%20review%202001.pdf, Acesso em: 14 de mar 2010.
- LUDWIG, M. P. **Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de soja produzida em solo de várzea alagada**. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.115f. Tese (Doutorado).

- MAGALHÃES, P.C.; COELHO, C.H.M.; GAMA, E.E.G.; BORÉM, A. Avaliação dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura para tolerância ao encharcamento do solo. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, **67**, 4p. 2005 <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2005/circular/Circ_67.pdf>. 14 de mar de 2010.
- MEDERSKI, H. J., JEFFERS, D.L. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. **Agronomy Journal**, v.65, n.3, p.410-412, 1973.
- MOMEN, N.M.; CARLSON, R.E.; SHAW, R.H.; ARJMAND, O. Moisture-stress effects on the yield components of two soybeans cultivars. **Agronomy Journal**, v.71, n.1, p.86-90, 1979.
- MOMMER, L.; LENNSEN, J. P. M.; HUBER, H.; VISSER, E. J. W.; DE KROON, H. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study of seven plant families. **Journal of Ecology** v.94, p.1117-1129, 2006. Disponível em: [http://www.eco.science.ru.nl/expplloec/publ/pdf/mommer\(2006\)_JEcol1.pdf](http://www.eco.science.ru.nl/expplloec/publ/pdf/mommer(2006)_JEcol1.pdf), Acesso em 14 de mar de 2010. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01175.x
- OPTI-SCIENCES. **CCM-200 Chlorophyll Meter - User Guide**, 31p. 2003. Disponível: <<http://www.optisci.com>> Acesso: setembro de 2009.
- PADOVAN, M.P.; ALMEIDA, D. L. G.; GERRA, M. J. G.; RIBEIRO, R. L. D.; NDIAYE, A. Evaluation of soybean cultivars under organic management for green manuring and grain production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1705-1710, 2002.
- PEZESHKI, S. R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v.46, p.299-312, 2001. Disponível em: www.elsevier.com/locate/envexpbot, Acesso em: 15 de mar 2010, doi:10.1016/S0098-8472(01)00107-1.
- PIRES J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

- REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 37., 2009, Porto Alegre. **Indicações técnicas para cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2009/2010**. 2009.144 p.
- SCHOLLES, D.; VARGAS, L. K. Viabilidade da inoculação de soja com estirpes de *Bradyrhizobium* em solo inundado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p.973-979, 2004.
- SCHUSSLER, E. E.; LONGSTRETH, D. J. Changes in cell structure during the formation of root aerenchyma in *Sagittaria lancifolia* (Alismataceae). **American Journal of Botany**, v.87, n.1, p.12-19, 2000. Disponível em: <http://www.amjbot.org/cgi/reprint/87/1/12>, Acesso em: 14 de mar 2010.
- SCOTT, H.D.; DeANGULO, J.; DANIELS, M.B.; WOOD, L. S. Flood duration effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, v.81, p.631-636, 1989.
- SEAGO, J. L. J. R.; MARSH, L. C.; STEVENS, K. J.; SOKUP, A.; VOTRUBOVA, O.; ENSTONE, D. E. A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. **Annals of Botany**. v.96, p.565-579, 2005. Disponível em: www.aob.oupjournals.org, Acesso em: 13 mar 2010, doi:10.1093/aob/mci211
- SERRES, B. J.; VOESENEK, L.A.C.J. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-39, 2008. Disponível em: www.annualreviews.org.by, Acesso em: 19 mar 2010. doi 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752.
- SEVERO, T. M.; JUNIOR, A. A. A. B.; ZENZEN, I. L.; XAVIER, C.; MITTELMANN, A.; AMARANTE, L. do. Efeito do alagamento sobre o crescimento de plantas noduladas de soja. **XVI Congresso de Iniciação Científica**, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.
- SHIMAMURA, S.; MOCHIZUKI, T.; NADA, Y.; FUKUYAMA, M. Secondary aerenchyma formation and its relation to nitrogen fixation in root nodules of soybean plants (*Glycine max*) grown under flooded conditions. **Plant**

- Production Science**, v.5, p.294–300, 2002. Disponível em: http://nels.nii.ac.jp/els/110001720465.pdf?id=ART0001844255&type=pdf&lang=en&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1269307200&cp=. Acesso em 14 de mar 2010.
- SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. **Drenagem Superficial para Diversificação do Uso dos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul**. Circular técnica 40, Pelotas, 2004.
- SILVEIRA, P. M. DA; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n9/18286.pdf>. Acesso em: 05 de out. de 2010. doi: 10.1590/S0100-204X2003000900009.
- SULLIVAN, M; VANTOAI, T.; FAUSEY, N.; BEUERLEIN, J.; PARKINSON, R.; SOBOYEJO, A. Evaluating On-Farm Flooding Impacts on Soybean. **Crop Science**, v. 41, p. 93–100, 2001.
- TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 848 p., 2009.
- THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M. C.; SODEK, L. Aerenchyma Formation and Recovery from Hypoxia of the Flooded Root System of Nodulated Soybean. **Annals of Botany**, v.96, p.1191–1198, 2005. Disponível em: www.aob.oxfordjournals.org, Acesso em: 14 de mar 2010. doi:10.1093/aob/mci272.
- VANTOAI, T. T.; BEUERLEIN, J. E.; SCHMITTHENNER, A. F.; MARTIN, S. K. ST. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, v. 34, p. 1112–1115, 1994.
- VANTOAI, T. T.; NURJANI, N. Screening for flooding tolerance of soybean. **Soybean Genetics Newsletter** . vol.23. p.210-213. 1996.
- VANTOAI, T.T, MARTIN, S. K. ST.; CHASE, K.; BORU, G.; SCHNIPKE, V.; SCHMITTHENNER, A. F.; LARK, K. G. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. **Crop Science**. 41:1247-1252. 2001.

- VARTAPETIAN, B.; JACKSON, M. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals of Botany**, v.79, p.3–20, 1997. Disponível em: <http://aob.oxfordjournals.org>, Acesso em: 14 mar 2010.
- VIDEMŠEK, U.; TURK, B.; VODNIK, D. Root aerenchyma – formation and function. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 87, n. 2, p. 445 – 453, 2006. Disponível em: <http://aas.bf.uni-lj.si/september2006/24videmsek.pdf>, Acessado em: 14 de mar 2010.
- VISSER, E. J. W.; BÖGEMANN, G. M.; VAN DE STEEG, H. M.; PIERIK, R.; BLOM, C. W. P. M. Flooding tolerance of *Carex* species in relation to field distribution and aerenchyma formation. **New Phytologist**, v.148, p.93–103, 2000. Disponível em: http://www.eco.science.ru.nl/expplloec/publ/pdf/NPH148_2000_93-103.pdf, Acesso em: 14 de mar de 2010.
- VOESENEK, L. A. C. J.; COLMER, T. D.; PIERIK, R.; MILLENAAR, F.F.; PEETERS, A. J. M. How plants cope with complete submergence. **New Phytologist**, v.170, p.213–226, 2006. Disponível em: www.newphytologist.org, Acessado em: 14 mar 2010, doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01692.x.
- YORDANOVA, R. Y.; POPOVA, L. P. Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. **Acta Physiol Plant**, v. 29, p.535–541, 2007. doi 10.1007/s11738-007-0064-z
- ZENZEN, I. L.; AMARANTE, L. DO; COLARES, D. DOS S.; OLIVEIRA, M. L.; BERNARDI, E., ELTON COSTA, L. G. DA; NASCIMENTO, J. S. DO. Área Foliar e Volume do Sistema Radicular em Plantas de Soja Inoculadas com Estirpes de *Bradyrhizobium* e Submetidas ao Alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 1092-1094, 2007.



MANEJO DA CULTURA DA SOJA EM TERRAS BAIXAS

Mara Grohs^{1*}, Robson Giacomeli² e Glauber Monçon Fipke³

¹ Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) : grohs.mara@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): robsongiacomeli@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA): glauber.unipampa@gmail.com

*Autor correspondente

Introdução

Atualmente estima-se que o estado do Rio Grande do Sul (RS) possua cerca de três milhões de hectares de áreas de terras baixas com a infraestrutura de irrigação e drenagem necessária para o cultivo do arroz irrigado por inundação. No entanto, menos de um milhão de hectares é utilizado anualmente com a cultura, propiciando assim, a subutilização de muitas dessas áreas durante a safra de primavera-verão. Por muitos anos o modelo de utilização dessas áreas foi baseado no monocultivo de arroz irrigado, associado a criação extensiva de gado de corte no período de outono-inverno ou mesmo durante a primavera-verão nas áreas em pousio. Tal modelo se sustentou durante décadas nas principais regiões orizícolas do Estado. No entanto, devido à pressão de diversas pragas, como a resistência de plantas daninhas e insetos aos defensivos agrícolas específicos, bem como, pela necessidade do produtor em aumentar sua renda dentro da propriedade, outras culturas agrícolas foram sendo inseridas nesse ambiente de produção. Nesse sentido, a cultura da soja tem obtido destaque como a mais promissora para a utilização em rotação com o arroz irrigado nas áreas de terras baixas.

No início a utilização da cultura da soja nesse ambiente tinha como principal objetivo o controle do arroz-vermelho, principal planta daninha do arroz irrigado. Atualmente, devido aos avanços na tecnologia de produção da leguminosa nessas áreas, associados aos elevados preços pagos pela *commodity*, a sojicultura deixou de

ser apenas uma alternativa de cultivo, passando a participar diretamente no sistema produtivo dessas áreas.

Atualmente, 408 mil hectares de soja estão sendo cultivados em terras baixas no RS, sendo a maioria no sistema chamado localmente de “*ping pong* arroz/soja” (alternância de cultivo estival). O manejo correto do solo e dos tratos culturais pode proporcionar altas produtividades, especialmente pela disponibilidade natural de água para suprir a necessidade da soja em períodos de déficit hídrico. Porém, essa área de cultivo se apresenta estagnada a pelo menos quatro safras, isto é, apesar de haver possibilidade de semear soja em 3 milhões de hectares, está se utilizando apenas 10% desse potencial.

Isso ocorre em função dos desafios de cultivar soja em terras baixas, os quais são de ordem técnica e de gestão. Relativo à ordem técnica, cabe destacar as características físicas e químicas desses solos, que em sua grande maioria apresentam elevada compactação, processo de hidromorfismo, baixa disponibilidade de água para as plantas e reduzida disponibilidade de nutrientes. Neste sentido, a readequação dessas áreas para receber a soja é de fundamental importância para que os estresses sejam minimizados e o cultivo se justifique financeiramente.

A uniformidade na emergência de plântulas da lavoura é, então, um problema sério no tocante à drenagem, que é distinta no tempo e no espaço para cada talhão de lavoura. Com isso, o primeiro componente formador da produtividade de grãos (número de plantas por área) é afetado, e conseqüentemente, contribui para diminuição da produção. Além disso, vai contra um dos principais benefícios do cultivo de soja nessas áreas que é o controle de plantas daninhas, visto que essas falhas permitem a reinfestação da área, principalmente com plantas daninhas resistentes.

Em relação a gestão do negócio, exige-se do produtor que ele passe a administrar duas culturas bastante distintas em relação ao manejo. Assim, ambas estarão presentes na mesma estação de cultivo e poderão vir a

“competir” por recursos humanos, maquinários, prioridade no uso de insumos, dentre outros. Nesse sentido, os desafios para o orizicultor tornar-se também um sojicultor, demanda um período de transição que engloba a mudança na gestão ou no modo de pensar a lavoura, em relação a parte operacional do negócio e os desafios em relação ao manejo cultural da soja, os quais envolvem, principalmente, a melhoria dos recursos naturais, como a drenagem das áreas, a escolha do material genético adequado as necessidades, a fertilidade natural do solo, a época de semeadura, e o aproveitamento de oportunidades, como a irrigação. Esses são os fatores determinantes para manutenção do potencial produtivo da soja em terras baixas, os quais serão discutidos ao longo desse capítulo.

Fatores determinantes para a manutenção do potencial produtivo da soja em terras baixas

a) Atributos físicos e manejo do solo

As características físicas dos solos de terras baixas são as mais difíceis de serem modificadas, a longo prazo, para termos sucesso com a cultura da soja. Normalmente, essas áreas utilizadas com a cultura do arroz irrigado apresentam uma camada adensada muito próxima a superfície do solo. Em grande parte dos casos, os processos de desestruturação desses solos ocorrem devido ao intenso tráfego de máquinas pesadas visando o preparo das áreas destinadas ao cultivo do arroz irrigado.

Nas áreas de terras baixas as operações ocorrem frequentemente fora do intervalo de umidade ideal, visto que, as características de má drenagem natural, aliado muitas vezes a baixa declividade desses solos proporcionam um reduzido espaço de tempo para que os produtores preparem as áreas para cultivo do arroz. Essas práticas agravam ainda mais a baixa qualidade física, a qual afeta diversas propriedades do mesmo. Dentre elas, cabe destacar o aumento da compactação, da resistência mecânica do solo a penetração (RP), maior tendência

de encrostamento superficial e redução da porosidade do solo. A menor porosidade ocorre principalmente na macroporosidade que é a fração responsável pela drenagem vertical e a aeração do solo, resultando na baixa condutividade hidráulica nesses solos. Esse processo de desarranjo das partículas, principalmente em relação a consistência, volume, diâmetro e número de poros, associado a presença do horizonte B com elevada concentração de argila em subsuperfície (Planossolos) podem dificultar o desenvolvimento das plantas de soja nesse ambiente.

O excesso de água é o principal problema do uso do solo de terras baixas para o cultivo da soja, principalmente relacionado ao estabelecimento inicial em função do nível do lençol freático estar próximo a superfície nesse período, associando-se a baixa condutividade hidráulica, o que ocasiona maiores períodos de saturação do solo, diminuindo a presença de oxigênio para germinação e desenvolvimento das raízes da soja. Nesse sentido, dois pontos são fundamentais: a) retirar a água da superfície o mais rápido possível, e b) criar um ambiente aeróbico e sem restrições para o desenvolvimento das raízes.

Em algumas regiões do estado tem sido realizado o cultivo de soja sobre camalhões preparados em períodos que antecedem a semeadura ou concomitante ao processo de semeadura (nesse caso necessitando de uma semeadora modificada para essa finalidade). Esse tipo de cultivo evita o excesso hídrico na linha de semeadura, como também, possibilita a irrigação por superfície em áreas não sistematizadas devido a condução da água pelos sulcos que são formados entre os camalhões. Há melhoria das propriedades físicas do solo, principalmente quando os camalhões são preparados na entressafra e associados ao cultivo de uma gramínea forrageira, como o azevém ou a aveia-preta antes da soja.

A questão da drenagem é condição inerente ao cultivo da soja em terras baixas, bem como, a correção do pH através da calagem. Esses dois itens foram os principais limitantes no início da expansão da soja, e

ainda são para aqueles produtores que entram na atividade despreparados e com baixo nível de investimento. Nesse sentido, parte-se do pressuposto que o produtor adotou todas as medidas necessárias para atender esses dois fatores quando do início do cultivo em terras baixas e o foco passa a ser na melhoria do ambiente radicular através de estratégias de manejo de solo.

A capacidade das raízes das plantas penetrarem no perfil do solo diminui quando a densidade e a RP aumentam. O alongamento das raízes é dependente da pressão hidrostática (turgor) no interior das células das mesmas, sendo que esse turgor precisa ser superior à pressão exercida pelo solo para que a coifa e a região meristemática se desenvolvam adequadamente. Quando o desenvolvimento do sistema radicular é prejudicado, o potencial de água e a pressão de turgor das células são reduzidos, aumentando assim a produção e a concentração de ácido abscísico no sistema radicular. Esse ácido abscísico produzido nas raízes é enviado a parte aérea das plantas, atuando como mensageiro químico, levando a redução da condutância estomática e consequentemente da atividade fotossintética e da expansão foliar das plantas. O menor desenvolvimento radicular proporciona um menor volume de solo explorado, reduzindo a quantidade de água disponível para as plantas. Nesse sentido, deve-se fazer o diagnóstico da área no momento da adequação, pois pode-se lançar mão de mecanismos para iniciar a correção do problema. Indica-se a utilização de um penetrógrafo portátil para quantificar a RP, a qual, valores superiores à 2 MPa poderão proporcionar interferência ao crescimento radicular em profundidade. É importante salientar que a utilização do equipamento deverá ocorrer quando o solo se encontrar na capacidade de campo, a fim de permitir comparações ao longo do tempo. Essa avaliação em baixas umidades no solo pode resultarem em valores elevados de RP em um solo ou manejo como na figura 1, onde a escarificação não apresentou RP elevada com umidade próximo a capacidade de campo. Outra forma, embora empírica,

que pode ser adota é a abertura de trincheira e com a ponta de faca testar a resistência do solo, quando existir a presença de camada compactada, será observada uma diferença de consistência entre os 0,1 - 0,2 m de profundidade, ou seja, acima e abaixo dessa camada o solo não está compactado.

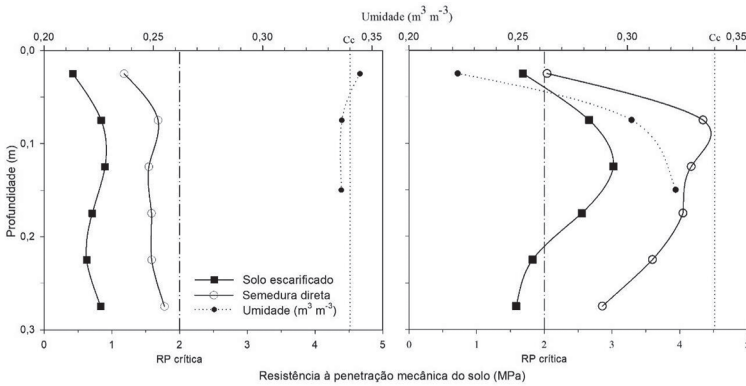


Figura 1. Resistência à penetração mecânica do solo e umidade volumétrica próxima a capacidade de campo (esquerda) e em menor umidade do solo (direita) de um Planossolo em diferentes manejos do solo. Capacidade de campo (Cc); resistência do solo à penetração mecânica crítica (RP crítica).

Quando constatada uma RP elevada na região do sistema radicular da soja, ou seja, até 20 cm de profundidade em uma área onde será introduzida a cultura, é necessária uma intervenção a fim de melhorar o ambiente radicular. Nesse sentido, diversos experimentos têm sido conduzidos nos últimos anos, a fim de determinar qual a melhor estratégia para aprimorar o ambiente radicular para o cultivo de soja, através de diferentes mecanismos rompedores do solo, a serem utilizados tanto no momento da semeadura quanto em pré-semeadura, como é demonstrado na Figura 2 e 3. Os diferentes mecanismos rompedores do solo diferem, principalmente, quanto a distribuição das plantas ao longo da área, bem como no desenvolvimento das mesmas, fundamentalmente por modificarem o ambiente radicular das plantas.

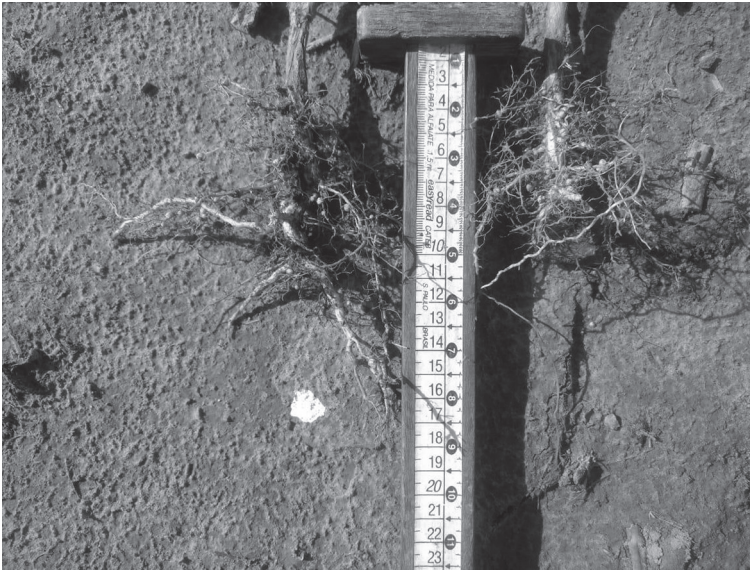


Figura 2. Detalhe do sistema radicular da soja cultivada sem impedimento físico (esquerda) e com restrição física (direita) em Planossolo. Foto: SILVEIRA, R. (2018).

A utilização da haste sulcadora substitui, em parte o processo de escarificação e permite que uma única operação seja realizada, no momento da semeadura. Porém, a fim de evitar o efeito de “sepultamento das sementes” (impossibilidade emergência) é aconselhado que o produtor a use de forma desencontrada, ou seja desalinhada do disco da semente na ordem de 5 a 7 cm. Apesar de bastante eficiente, os resultados demonstram que a escarificação possui um melhor resultado em relação ao uso da haste sulcadora, provavelmente pela maior área de abrangência da operação de trabalho.

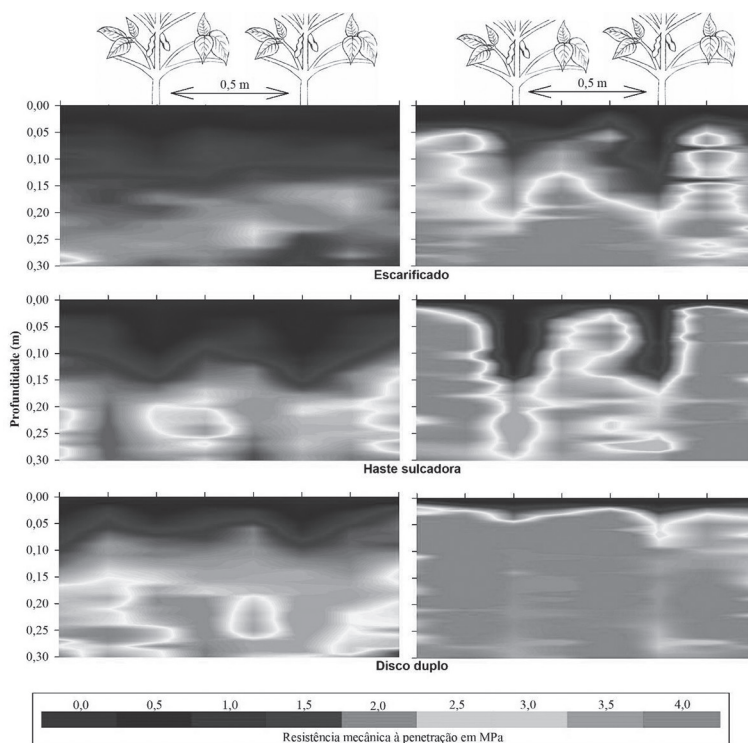


Figura 3. Distribuição de resistência do solo à penetração mecânica perpendicular as linhas de semeadura em solo escarificado (0,25 m) e semeadura direta com haste sulcadora (18 cm) e semeadura com disco duplo em Santa Maria (esquerda) e Formigueiro (direita), com umidade média do solo de 0,29 e 0,18 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente.

A escarificação em solos de terras baixas tem demonstrado resultados promissores, principalmente em áreas mais argilosas e comprovadamente com problemas de compactação (Figura 3, direita). Em média, a escarificação aumenta em 15% a produtividade de grãos da soja cultivada em terras baixas.

Não há dúvidas em relação à importância dessa intervenção. Porém algumas questões em relação ao manejo da escarificação ainda estão em análise, destaca-se as principais: (1) momento de realização do processo de escarificação; (2) profundidade do trabalho; (3) durabilidade do processo.

b) Adequação da fertilidade do solo

Os diferentes tipos de solos de terras baixas do RS aptos ao cultivo de soja apresentam uma grande diversidade nos atributos químicos de fertilidade dentre e entre as regiões arroseiras, porém, apresentam majoritariamente baixa fertilidade natural. A grande maioria é ácida (94% necessitam aplicações de corretivos de acidez), com baixos estoques de fósforo disponível (74% com teores baixo ou muito baixo) e matéria orgânica (75% com teores baixo ou muito baixo) embora apresentem teores de potássio menos críticos (46% dentro da suficiência) para a cultura da soja.

A alta concentração de solos ácidos pode ser explicada por não haver ao longo de anos de cultivo de arroz, a prática da calagem. Em sistemas inundados a redução do solo se dá pelo fenômeno da "autocalagem" proporcionada pela formação de lâmina de água após o início da irrigação. A calagem, além de corrigir a acidez, que é prejudicial ao desenvolvimento das plantas e a fixação biológica de nitrogênio, regula a disponibilidade dos nutrientes em geral. Em particular o aporte nutricional de molibdênio e fósforo que difere muito da disponibilidade para o arroz cultivado em solo saturado. A falta de conhecimento nessa área, por técnicos e produtores, gera equívocos no uso de fertilizantes na cultura da soja, e geralmente leva a subdimensionamento da quantidade de fertilizante a ser aplicado. Um outro aspecto que caracteriza a falta de investimento em calagem e adubação nessas áreas de produção é a forte incidência do arrendamento da terra e da água, configurando-se numa visão individualista tanto do proprietário como do arrendatário.

Dentre os macronutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é o de maior demanda pela cultura da soja. Estima-se que em torno de 80% dessa demanda seja suprida pela fixação biológica do nitrogênio (FBN) devido a inoculação de sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Essa condição não tem sido satisfeita

no sentido de promover a sobrevivência da célula microbiana até a simbiose com a plântula de soja. Ora por condições de manuseio do inoculante no momento do tratamento de sementes, ora por condições de hipóxia após a semeadura. Isso tem levado muitos produtores a contrariar as recomendações técnicas e fornecer além dos 20 kg de N no sulco de semeadura ou até mesmo, a suplementação em cobertura com ureia. Atualmente, as respostas tem sido inconclusivas e/ou desfavoráveis à suplementação mineral de N. As principais recomendações baseiam-se em promover boas condições a FBN, assim, suprimindo a necessidade total do nutriente. Estratégias práticas como a duplicação da dose do inoculante e/ou a mistura entre suas formulações (líquida e turfa) aliados ao manejo de drenagem e irrigação tem apresentado bons resultados. Atualmente, também tem sido desenvolvidas novas possibilidades, como uso de osmoprotetores (preservar as condições biológicas vitais dos microorganismos), novas espécies (e estirpes) de microorganismos, novas ferramentas de aplicação (inoculação no sulco), dentre outras.

Os trabalhos de adubação com soja, em áreas cultivadas em rotação com arroz são poucos e as informações técnicas ainda não consolidadas. Dadas as características físicas e químicas, além do estado hídrico, deve-se tomar cuidado em não apenas transferir as recomendações de adubação da cultura da soja realizada em solos com boa drenagem da metade Norte do RS, para os solos tradicionalmente cultivados com arroz na metade Sul do RS. Face a condição de baixa fertilidade, as doses requeridas pela cultura para atingir altas produtividades certamente são maior daquelas praticadas em terras altas. Nesse sentido, experimentos de níveis de adubação estão sendo conduzidas, utilizando como referência o Manual de calagem e adubação.

c) Escolha do genótipo adaptado

A escolha do genótipo tem papel fundamental na exploração do potencial de rendimento de grãos de soja. As principais características de adaptação dos materiais são tolerância ao excesso hídrico, ciclo de maturação, tipo de crescimento e resistência a doenças radiculares, além de um vigor inicial alto.

A tolerância a hipóxia é conferida por muitos genes com efeito restrito na expressão final da característica. Como a maior parte dos materiais é selecionado para uso em solos bem drenados, possuem baixa tolerância ao estresse hídrico. Atualmente, as empresas detentoras vislumbraram um mercado potencial no Sul do Brasil, passando a selecionar materiais com melhor performance em condições severas de estresse hídrico por déficit ou excesso. Apesar dos avanços, ainda não existem genótipos que apresentem tolerância absoluta em todos os estádios de desenvolvimento.

Quanto ao tipo de crescimento das cultivares de soja, **determinado** é genericamente apontado como sendo mais estável para o cultivo em ambientes de alto potencial produtivo, por reduzir as chances de acamamento, sendo empregado em situações específicas de cultivo em áreas de melhor drenagem e não propensas a deficiência hídrica, ou em que a suplementação hídrica está disponível. Por outro lado, o **indeterminado** é postulado como tendo maior período de recuperação de potencial de rendimento frente a estresses, visto o longo período de floração. Por apresentar as restrições edafoclimáticas citadas anteriormente, na maioria das áreas de terras baixas são utilizadas cultivares do tipo indeterminado, no intuito de prevenção a eventuais estresses que ocorram após a implantação da cultura. Com isso, penaliza-se o teto produtivo alcançável em detrimento de proporcionar uma maior estabilidade produtiva.

Deve-se adequar também a escolha do ciclo de maturação. Para isso, é fundamental posicionar o grupo de maturação relativa (GMR) de cada genótipo conforme

a disponibilidade de data da semeadura. Cultivares tardias semeadas muito cedo, podem ter um crescimento vegetativo muito intenso e acamar, enquanto que cultivares precoces semeadas ao final do período de semeadura, apresentaram uma estatura baixa e com uma altura de inserção dos legumes inferiores muito próxima do solo. Isso irá dificultar o processo de colheita principalmente naquelas áreas cultivadas sobre microcamalhão, como também pelo fato de que as plataformas das colhedoras utilizadas na cultura do arroz não são flexíveis.

Outra questão importante na escolha do genótipo é a capacidade de ramificação da planta. A formação de legumes e de grãos nos ramos pode corresponder por até 70% do rendimento total em ambientes altamente produtivos. Porém, muitas cultivares com baixa ramificação estão disponíveis no mercado, nesse caso, é importante atentar para a adequação da densidade de semeadura e o arranjo de plantas. No ambiente de terras baixas, muito frequentemente o estabelecimento inicial da lavoura é desuniforme em decorrência de vários fatores, como semeadoras antigas e pouco precisas, alta velocidade da operação devido as janelas de semeadura muito apertadas e, morte de plântulas em função de má drenagem. Isso acarreta má distribuição das plantas no sulco de semeadura, resultando em várias plantas agrupadas, seguidas de espaços vazios. Cultivares de soja com potencial de ramificação apresentam maior capacidade de compensar espaços vazios decorrentes da deficiente distribuição das plantas.

A resistência a moléstias, principalmente as doenças de solo, também é um fator decisivo na escolha do genótipo, visto que, terras baixas são um ambiente úmido, propício a ocorrência de patógenos nas fases iniciais. Geneticamente, temos opção de resistência apenas para podridão de fitóftora sendo recomendável priorizar cultivares com essa característica. Mesmo assim, o tratamento prévio da semente com fungicida deve ser uma das prioridades fitossanitárias nesse ambiente. Quanto

aos demais patógenos, é evidenciada menor pressão (e ocorrência) em relação as regiões tradicionais produtoras de soja. Baseado nisso, enfatiza-se o monitoramento dos focos de ocorrência de doenças, em detrimento do investimento precipitado em defensivos agrícolas extremamente específicos que oneram os custos de produção.

É essencial contar com uma semente com alto vigor, característica genética mas que é influenciada pela qualidade fisiológica, garantida durante seu processo de produção. Adquirir sementes oriundas de fontes duvidosas deve ser evitado, pois a prevalência desse atributo fisiológico só é proporcionada naquelas situações onde são satisfeitas as condições de cultivo essenciais, como nutrição, disponibilidade hídrica, oxigênio, dentre outras. Nesse sentido, há cultivares disponíveis no mercado especificamente para ambientes de terras baixas, com tolerância ao excesso hídrico, porém, com um vigor inicial baixo, o que retarda o estabelecimento da lavoura. Uma cultivar de soja para terras baixas tem que germinar e emergir rapidamente a fim de diminuir a exposição pelos efeitos do estresse hídrico, formação de crosta ou ataque de doenças, principalmente. Devido a uma iniciativa público-privada foi possível o lançamento de dois materiais genéticos específicos para terras baixas (TEC IRGA 6070 RR e BS IRGA 1642 IPRO). Infelizmente o programa de melhoramento que gerou esses materiais foi finalizado em virtude da grande expansão no lançamento de genótipos pelas empresas privadas, alguns destes, contemplando essas características.

É possível avaliar os genótipos disponíveis no mercado e sua adaptação ao ambiente de terras baixas, por meio do acompanhamento das "vitrines" de soja. Esses ensaios são realizados em centros de pesquisa públicas e privadas, como universidades e institutos. É recomendável a escolha do material baseado nessas informações, aliado sempre, a adequação do terreno para evitar estresses hídricos. O Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) mantém, anualmente, uma coleção de cul-

tivares de diferentes empresas, que são testadas nas condições de terras baixas. É importante salientar que é o detentor que sugere o material e encaminha a semente para os testes. Complementando a iniciativa de empresas de pesquisa, é recomendável que o próprio produtor mantenha uma diversidade genética dentro da sua propriedade, a fim de averiguar quais as cultivares que mais se adaptam ao manejo empregado.

d) Época de semeadura

A época de semeadura é um fator diferencial para alta produtividade da soja, assim como para a cultura do arroz irrigado. Pesquisas recentes do IRGA indicam que os maiores rendimentos são obtidos entre 20 de outubro a 20 de novembro (Figura 4). No entanto, o grande entrave para a semeadura da soja nesse período é a finalização da semeadura do arroz. Isso se dá porque a maioria dos produtores que semeiam soja em terras baixas são orizicultores que priorizam a implantação do arroz na época preferencial. À medida que se atrasa um dia a semeadura do arroz após 15 de outubro, há uma diminuição de até $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na produtividade de grãos potencial. Além disso, quando o arroz atingir o estágio V3 (em torno de 15 dias após a emergência), uma série de manejos culturais irão demandar a maior parte dos recursos humanos e dependendo do tamanho da propriedade e da disponibilidade de mão-de-obra, poderá levar semanas, prejudicando ainda mais a semeadura da cultura da soja na época ideal. Esse fator é um grande entrave para altas produtividades da soja em terras baixas e somente o produtor que consegue gerenciar duas equipes para realizar as atividades simultaneamente no arroz e na soja, consegue sucesso nos dois empreendimentos.

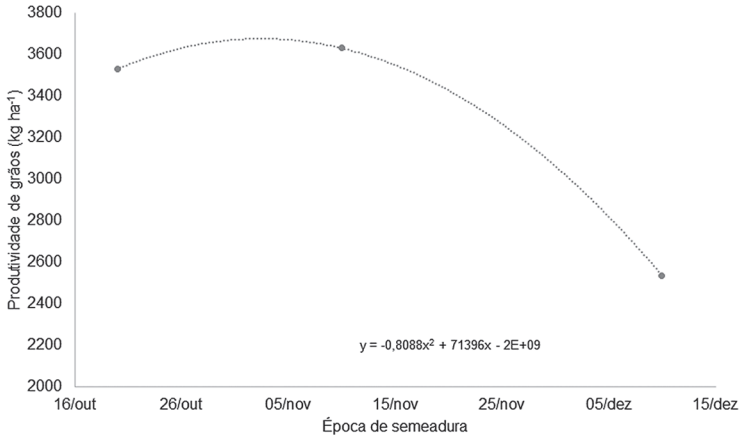


Figura 4. Produtividade de grãos de soja cultivada em terras baixas em função da época de semeadura. Dados provenientes de 315 unidades amostrais, em 12 materiais genéticos de GMR diferentes, cultivados entre as safras de 2014/15 a 2017/18, na Estação de pesquisa do IRGA, Região Central (Planossolo Háplico eutrófico arênico).

Por meio dos dados gerados, o início de novembro seria a época preferencial de semeadura de soja em terras baixas e à medida que se atrasa a semeadura após 10 de novembro, há uma perda de $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na produtividade de grãos, ou seja, dependendo do ano e da cultivar utilizada, a época será responsável por até 30% da produtividade de grãos da lavoura. As semeaduras de outubro apresentam menor produtividade quando comparada a novembro visto que ocorrem frequentemente elevadas precipitações nesse período, associadas com a baixa temperatura do solo, o que prejudica o estabelecimento das plantas.

e) Irrigação

A irrigação na cultura da soja deve ser realizada para evitar o déficit hídrico, com o objetivo de manter o potencial produtivo da lavoura. A intensidade do déficit é muito variável no RS, pois depende do regime pluviométrico (ocorrência dos fenômenos La Niña e El niño), da tolerância das cultivares, época de semeadura, duração

do déficit, estágio de desenvolvimento e profundidade do sistema radicular. As maiores perdas por evaporação ocorrem no período vegetativo em que a temperatura é alta e o solo está encoberto. A transpiração evolui com o aumento da área foliar, sendo máxima no período reprodutivo.

Em decorrência da baixa declividade, taxa de infiltração e estrutura presente nas áreas de terras baixa a irrigação por sulcos na lavoura de soja é a principal alternativa (Figura 5). A forma mais difundida é através da utilização de politubos, que distribuem, de forma uniforme e rápida, a água pela área. Esse tipo de irrigação demanda um planejamento bastante rígido por parte do produtor e um investimento em equipamentos que façam o sulco previamente a semeadura, a fim de ganhar tempo. Isso demandará investimentos em tecnologia, como tratores equipados com RTK a fim de facilitar a semeadura sobre os sulcos previamente construídos.



Figura 5. Irrigação por superfície com a utilização de politubos.

Alternativamente a essa irrigação por superfície, é possível o investimento em irrigação por aspersão (pivô central) o que poderá ser utilizado tanto na cultura da soja, quanto do arroz, além de permitir outras culturas como o milho (Figura 6) e reduzir o custo com preparo do solo.



Figura 6. Irrigação por aspersão com pivô central tanto na cultura da soja, quanto no arroz irrigado.

Quando as práticas de manejo não forem limitantes ao cultivo de terras baixas (principalmente em relação a drenagem da área), a irrigação constitui-se em uma prática fundamental para a estabilidade da produtividade e para a rentabilidade do investimento. É importante salientar, que as áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado têm a estrutura de irrigação pronta, o que permite afirmar que, a soja de terras baixas tem maior potencial produtivo em relação as terras altas, desde que asseguradas condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

O manejo de irrigação tem sido realizado de forma muito empírica, e na maioria das vezes como de salvação, onde a cultura já sofreu os efeitos do estresse. Como as irrigações tem sido realizadas quando o estresse já é visível, ou seja, após 10-15 após a última chuva, podendo ocorrer uma chuva logo após a irrigação, passando rapidamente de um período de déficit ao excesso hídrico reduzindo as vantagens de utilizar a irrigação. Para o manejo de irrigação os trabalhos apontam a necessidade do monitoramento meteorológico associado ao conteúdo ou tensão de água no solo. Para isso, deve-se caracterizar as propriedades físico-hídricas do solo por camadas, bem como, a profundidade do sistema radicular durante o desenvolvimento da cultura da soja para determinar quantidade total de água disponível no solo (capacidade de campo subtraída do ponto de murcha permanente).

De mão dos dados de quantidade total de água disponível e com o monitoramento meteorológico pode-

mos estimar quando será necessária a irrigação. Com o uso de sensores ou tensiômetros podemos monitorar o conteúdo de água diretamente no solo. Alguns trabalhos apontam que o critério de irrigação pode ser 50% da quantidade de água total disponível, 60 Kpa de tensão ou 60-70% da capacidade de campo. Lembrando que esses critérios estão relacionados ao solo, devem ser considerados médios para região onde 80% das raízes estão presentes, ou seja, com o desenvolvimento da cultura, embora aumente a demanda de água, a quantidade de água disponível total é maior devido o aprofundamento do sistema radicular. Irrigações muito frequentes no período vegetativo da cultura da soja devem ser evitadas, pois podem favorecer que um sistema radicular mais superficial, o que demandará um número maior número de irrigações no período reprodutivo.

Considerações finais

Na última década houve grandes avanços no entendimento do ambiente de terras baixas para o cultivo de soja e na definição do manejo integrado que mitiga os efeitos negativos dos estresses e potencializa o rendimento da cultura. Com estes avanços ficou evidenciado que o cultivo de soja neste ambiente não somente pode ser realizado com segurança, como também permite ser direcionado para alcançar altos potenciais de rendimento de grãos, principalmente em função da possibilidade de irrigação de boa parte dessas áreas, diferentemente das áreas de terras altas.

É importante salientar que o cultivo de soja inserido dentro de um sistema produtivo que envolva a rotação com arroz e demais cultivos é um caminho sem volta, visto os benefícios que traz para o manejo da lavoura de arroz e a saúde financeira da propriedade. Porém, o produtor que entrar na atividade deve estar bem amparado na gestão da parte técnica, mas fundamentalmente na gestão de seus recursos humanos a fim de realizar todos os manejos culturais necessários para altas produtividades, no devido momento e com a eficiência técnica requerida.

Referências

- ALMEIDA, D.; ANGHINONI, I. **Projeto Soja 6000: Manejo para altas produtividades em terras baixas**. 2 ed. Porto Alegre: Gráfica e Editora RJR, 2018. 96p.
- CARMONA, F. C. et al. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arroseira**. Porto Alegre: Edição dos autores, 2018. 160p.
- EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A. da.; OLIVEIRA, A. C. B. de. **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 336p.
- GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201p.
- IRGA, INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Safras**. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/safras-2>. Acesso em: 25 mar 2020.
- SOSBAI, SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**, 32º Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado e X Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado, 2018. 205p.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Soja: Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 248p.
- THOMAS, A. L.; LANGE, C. E. **Soja em solos de várzea do Sul do Brasil**. Porto Alegre: Evangraf, 2014. 128p.
- ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v.108, p.1447-1454, 2016.



LIMITAÇÕES E POSSIBILIDADES DE SOJA EM ÁREAS DE ARROZ

Enio Marchesan¹

¹ Eng.Agr. Prof. Titular, Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria: eniomarchesan@gmail.com

Introdução

A soja é um cultivo fundamental na cadeia de produção de arroz. Além da sua contribuição para a elevação da renda da propriedade, ela é responsável por este novo momento de revitalização da lavoura de arroz. Por suas exigências diferentes do arroz e, necessárias para ter mais estabilidade na produção, ela incorporou melhorias nas áreas de cultivo, o que beneficiou diretamente o arroz e potencializou o uso das áreas para outros cultivos de grãos ou forrageiras bem como a integração com a produção animal.

No aspecto econômico, a disponibilidade de ter além do arroz, outros produtos para comercializar, oferece ao produtor a possibilidade de escolha na hora da venda, de acordo com os preços de mercado. Com relação a questão ambiental, a soja auxilia a minimizar impactos da cadeia de produção de arroz, proporcionando mais sustentabilidade no processo produtivo como um todo. Na série de dados disponível das últimas 13 safras (Irga, 2022), mostra que a soja em rotação com arroz no Rio Grande do Sul apresentou na safra 2009/10 uma área de 11.150ha, com produtividade média de 2.200kg/ha, evoluindo para 426.212ha de área semeada, com produtividade média de 2.656 kg/ha na safra 2021/22. No entanto, há limitações ao seu cultivo no ambiente de várzeas, terras baixas ou em áreas de arroz, termo que será utilizado neste texto. A drenagem das áreas é a principal limitação, afetando o cultivo desde sua implantação. Riscos de ressemeadura e redução da população por morte de plantas comprometem a lavoura desde o

início. Em função da soja passar parte do seu ciclo em condições de deficiência hídrica ou de deficiência de oxigênio, apresenta oscilações de produtividade entre anos e regiões.

Então, nessa perspectiva, a primeira estratégia é reduzir os períodos e/ou duração dos estresses da planta. Depois disso, buscaram-se outras práticas de manejo para obter elevadas produtividades, ao mesmo tempo que se avalia a rentabilidade das tecnologias utilizadas, ou seja, observam-se os custos de produção das diferentes estratégias utilizadas. Assim, este é um trabalho que precisa ser feito em conjunto, com a pesquisa científica e também com as descobertas e experimentações feitas pelos produtores e técnicos, necessitando ser validado para diferentes condições edafo-climáticas e de manejo da lavoura da metade sul do Rio Grande do Sul. A velocidade do avanço depende de nossa capacidade de interagir.

A seguir, será apresentada uma visão do que se espera da soja em áreas de arroz, a caracterização dos ambientes e alternativas de manejo para que se tenha mais assertividade no cultivo da soja em áreas de arroz, minimizando estresses e buscando estabilidade de produção em níveis elevados de produtividade e rentabilidade da atividade.

O que se espera da soja em áreas de arroz

Serão elencados alguns aspectos que são importantes para a soja em áreas de arroz. O primeiro deles é que ela seja “reconversora” de áreas, recuperando ou mantendo tecnologias de produção. Espera-se que ela auxilie no controle de plantas daninhas, contribuindo para redução do custo de controle de invasoras da lavoura de arroz e do sistema de produção como um todo. A soja é fundamental para recuperar áreas onde se perdeu a tecnologia Clearfield no sistema de produção de arroz, por resistência de plantas daninhas aos herbicidas utilizados. É decisiva também para a manutenção de no-

vas tecnologias de produção de arroz que virão, fazendo parte de um sistema de produção mais intensivo e sustentável para estas áreas.

Outro papel que se espera da soja é contribuir para a elevação da produtividade do arroz, em função do melhor controle de plantas daninhas com herbicidas de outros grupos químicos, além de interromper ciclos de pragas e doenças. Por ser uma leguminosa, espécie com características diferentes de parte aérea e sistema radicular, influencia também na parte física, química e biológica do solo. Além disso, devido a área estar pronta após a colheita, tem-se maior domínio sobre a melhor época de semeadura do arroz, fator fundamental para fazer coincidir o período de maior radiação solar com o período mais responsivo do arroz e com isso ter condições para concretizar alta produtividade.

Os custos da lavoura de arroz também se reduzem, em função de não haver necessidade de preparo da área, apenas a construção das taipas e manutenção do sistema de drenagem. Outro legado importante e que deve ser aproveitado em momentos de preços bons da soja é investir na infraestrutura das áreas, melhorando e automatizando tudo o que for possível com relação a canais, nivelamento das áreas, estradas internas, etc. O objetivo é potencializar o uso das áreas para outros usos além da soja, como milho, forrageiras e, com isso facilitar a integração com a pecuária.

Ainda no aspecto técnico pode-se dizer que "a soja não vem sozinha". É uma espécie espetacular para implantação de forrageiras de inverno utilizando-se sobresemeadura de azevém ou aveia, por exemplo, tecnologia agrônômica importante para a ciclagem de nutrientes, controle de plantas daninhas e biologia do solo. As forrageiras podem ser implantadas muito bem também após a colheita da soja.

A presença da lavoura de soja na propriedade vai fazer com que se necessite melhorar o sistema de gestão da propriedade, não apenas com relação ao planejam-

to de uso de recursos financeiros, mas particularmente quanto a recursos humanos. Agora tem-se arroz e soja e logo virão outras possibilidades de produção de grãos ou forragem para produção animal, necessitando cada vez maior domínio dos fatores de produção, e gestão.

Veja-se que até agora abordou-se o benefício da soja para outros cultivos e usos da área. Mas ela representa uma outra fonte de renda para a propriedade. Possui aspectos particulares de produção e também de comercialização. Por isso, é importante também para o fluxo de caixa, podendo ser comercializada em momento diferente do arroz, o que é fundamental para a administração financeira da propriedade. Como se observa, a soja é um "achado" para integrar o sistema de produção de terras baixas. Mas para atender as demandas de "hoje", ainda precisa-se evoluir muito sobre suas exigências para que seja um cultivo com menos oscilações de produtividade. E deve-se estar preparado também para o "amanhã" para ter respostas a problemas ainda desconhecidos, que pelo cultivo e, especialmente, quando integrados num "sistema de produção" certamente irão aparecer.

Como é um cultivo recente neste ambiente de produção de áreas de arroz, diversos aspectos de manejo necessitam ser ajustados a esta condição. São limitações que se tem hoje em função da falta de informação consolidada, mas ao mesmo tempo são oportunidades que se abrem para a pesquisa científica e para a validação em nível de propriedade com participação dos produtores e técnicos da região. Entre os principais aspectos que definem a resposta pode-se citar os relacionados a: organização e drenagem da área, implantação da lavoura, melhoria do ambiente radicular das plantas, cultivares, manejo de plantas daninhas, manejo da palhada e de plantas de cobertura, enfoque em sistema de produção e gestão da propriedade e de pessoas. Neste texto, o foco será sobre aspectos relacionados à adequação da área e à implantação da soja.

Caracterização geral das áreas

Apresenta-se uma breve caracterização do ambiente de terras baixas para que possa subsidiar as ações e reduzir incertezas quando do uso da área com cultivos alternativos ao arroz.

Segundo Gomes & Pauletto (1999), uma característica dessas áreas é a heterogeneidade dos solos quanto a mineralogia e granulometria em função do material de origem, tendo como característica dominante a má drenagem e o hidromorfismo, provocando umidade excessiva. O relevo geralmente é plano, com as áreas localizadas em cotas mais baixas da paisagem. Ainda segundo os autores, solos cultivados com arroz apresentam camada superficial pouco profunda e camada sub-superficial impermeável com elevada densidade do solo, alta relação micro/macroporos, baixa capacidade de armazenamento de água, podendo resultar em alagamento em períodos chuvosos, devido a pequena capacidade de infiltração de água. O trabalho do solo para cultivo do arroz afeta algumas características relatadas acima, especialmente quando o solo é trabalhado em condições inadequadas de umidade. A formação de camada compactada, ou mais adensada, próximo à superfície do solo é um aspecto importante, que para o arroz contribui para o menor uso de água, mas é indesejado para outros cultivos. Para soja, este é um fator de risco limitante, pois afeta a emergência, morte de plantas e produtividade devido a frequentes períodos de deficiência hídrica ou de oxigênio.

Nesse sentido, Marchesan, (2016) apresenta alguns parâmetros relacionados ao movimento de água do solo em um Planossolo que estava sendo cultivado com arroz por diversos anos, com o objetivo de determinar práticas de manejo para a inserção do cultivo de soja. Foi analisada a densidade do solo, a porosidade total, a macro e microporosidade e a condutividade hidráulica, estratificando o solo de 10 em 10 centímetros. Para ser mais objetivo, destaca-se aqui apenas a condutivi-

dade hidráulica, que foi de 3.5, 0.7, 18.3 e 67.9 mm.h⁻¹, respectivamente de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-40cm. Observa-se que a grande limitação se encontra até cerca de 20cm, pois a infiltração de água no perfil do solo é muito baixa. Em situações semelhantes a essa, para o cultivo da soja é preciso interferir nesta região do perfil do solo.

Quanto a parte química do solo, Vedelago, (2012), apresenta resultados de análises de áreas de arroz, que para o cultivo da soja necessitam de quantidades diferenciada de fertilizantes do que quando se cultiva arroz, dependendo é claro do nível de produtividade almejado. Comparando as necessidades de calagem para arroz e soja, evidencia-se também a maior necessidade para a soja. Então, no planejamento é necessário prever recursos para adubação. Ainda quanto a parte química, a diversidade de solo sugere atenção pormenorizada na recomendação de adubação.

Pelo exposto, depreende-se que há limitações em determinadas áreas de arroz para o cultivo da soja. A análise técnica vai identificar qual o grau de risco e as práticas de manejo necessárias para viabilizar o cultivo. Algumas áreas estão aptas ao cultivo da soja, outras poderão ser utilizadas apenas depois de executar adequações, enquanto outras ainda não deverão ser utilizadas com soja devido aos riscos serem muito grandes.

Adequação/organização/sistematização das áreas - Domínio sobre o fluxo das águas

É necessário buscar orientação técnica especializada, pois o cultivo da soja em áreas de arroz tem nos mostrado que aquilo que é feito para o cultivo do arroz, de maneira geral, não é suficiente para a soja nestas áreas. Ela é mais exigente quanto a drenagem e também deve-se planejar as possibilidades de irrigação, para que se realize maior potencial de produção. Assim, para potencializar o uso dessas áreas para outros cultivos de grãos, forrageiras e integração com produção animal é

necessário reavaliar todo o sistema de macro e micro-drenagem da área, investindo em infraestrutura. Os três principais objetivos são: ter mais assertividade na produção de soja pela redução dos períodos e a duração dos estresses por deficiência hídrica ou por deficiência de oxigênio, ampliar o número de dias de operações com máquinas durante a melhor época de semeadura e automatizar ao máximo as atividades de drenagem e irrigação.

Assim, os trabalhos que visam ter o domínio sobre o fluxo das águas, envolvem dois objetivos principais. O primeiro deles é que a água de fora da lavoura não entre na área. Canais de drenagem bem alocados, dimensionados e limpos, desempenham a tarefa de dar escoamento às águas externas. O outro objetivo é que a chuva que choveu na área da lavoura, deve ser retirada o mais rápido possível, não devendo ficar lâmina de água na superfície do terreno. A meta é que o excesso de água deve ser removido em 24 horas, principalmente pela superfície, uma vez que a drenagem através do perfil é muito pequena. Fazem parte deste sistema de drenagem, os drenos principais e secundários, o perfeito nivelamento da superfície do terreno, bem como os drenos superficiais, que devem se manter funcionais durante todo o ciclo do cultivo da soja.

Na busca de atingir elevados rendimentos e aproveitar o potencial das áreas de arroz para outros cultivos, deve-se contemplar também a irrigação. Discute-se neste texto apenas a irrigação por superfície. A locação dos canais de irrigação de modos a irrigar e drenar de maneira rápida e independente cada talhão é decisiva para atingir a resposta desejada da irrigação. Além dos canais, a estrutura e os meios de distribuição da água devem estar prontos antes da semeadura. Se for providenciar as necessidades para irrigação quando ocorrer a seca, não vai dar tempo.

Diversas são as formas de irrigar, seja por aspersão ou por sulco/camalhão. A tecnologia de implantar

soja em área com sulcos está evoluindo muito em função da necessidade de drenagem e da resposta da soja à irrigação e dos frequentes períodos de seca, variável de acordo com a região, ano e manejo. As pesquisas têm mostrado estabilidade de produção e ganhos de produtividade com irrigação.

Nas Figuras 1 e 2, é apresentado um “jeito” de organizar a área quanto à drenagem. Com o preparo antecipado da área e o sistema de drenagem em pleno funcionamento tem-se maior domínio sobre a época de semeadura, pois concentram-se todos os recursos apenas na operação de semeadura e atividades subsequentes. A meta é realizar o preparo antecipado da área com diferentes manejos de palhada de arroz colhido no seco ou o manejo da área imediatamente após a colheita quando houver necessidade de recuperação no nivelamento da área e feita a correção com calcário e com plantas de cobertura já semeadas.

Na Figura 3, tem-se soja implantada em sistema de sulco/camalhão construídos no momento da semeadura, mostrando a área sendo irrigada. Na Figura 4, apresenta-se área com cobertura de aveia onde será implantada soja em sistema de sulco/camalhão, com elevado controle sobre a drenagem e com possibilidade de irrigação. Aqui está associado um sistema mais conservacionista com plantas de cobertura e posterior semeadura direta.

Este trabalho de organização da área envolve avaliação técnica da área e recursos financeiros. É uma proposta que deve crescer muito em áreas cultivadas com arroz visando adequá-la para outros cultivos, pois o sistema como um todo, tanto de irrigação como de drenagem, precisa ser reavaliado nesta nova ótica de potencialização do uso das áreas de arroz, gerando oportunidade de trabalho e serviços. Recomenda-se acompanhamento técnico especializado para projeto e execução.

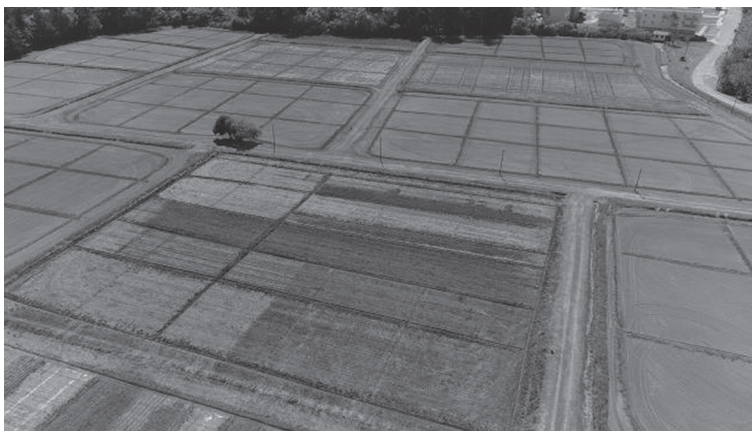


Figura 1. Área preparada antes da entrada do inverno, com o sistema de drenagem estabelecido com o objetivo de atender ao princípio “na hora de semear, só semear”! GPAI/UFSM



Figura 2. Área preparada ainda no mês de maio, com diferentes sistemas de manejo pós-colheita, com o sistema de drenagem estabelecido, com semeadura de plantas de cobertura e pronta para semeadura dos cultivos de primavera/verão. GPAI/UFSM



Figura 3. Foto de soja em sulco/camalhão, construídos no momento da semeadura. GPAI/UFSM, 2011/12.



Figura 4. Área com sulco/camalhão e aveia implantada, preparada para realizar a semeadura da soja e eventual irrigação. GPAI/UFSM.

Melhoria do ambiente radicular

Parte física do solo

Para soja e outros cultivos que não o arroz, a drenagem descrita acima pode não ser suficiente. É necessário avaliar como está a região do sistema radicular. Inicialmente, verifica-se se há a presença de camada compactada. Qual sua localização no perfil do solo, espessura e grau de resistência à penetração, com avaliação sendo realizada próximo à capacidade de campo do solo, com instrumento denominado penetrômetro. A complementação com pequenas trincheiras auxilia na visualização e no convencimento da equipe a respeito das estratégias a serem tomadas. A determinação da profundidade e da espessura da camada de maior resistência à penetração fornece subsídios para escolha do equipamento a ser utilizado.

Na Figura 5, observa-se o resultado advindo da utilização do penetrômetro. Percebe-se que a caracterização das áreas mostrou limitações de resistência à penetração já a partir de 5cm, com valores próximos a 2MPa e apresentou maior pico em cerca de 10-15cm, com valor de 2,5 a cerca de 3,2 Mpa. O disco duplo reduziu muito pouco essa resistência, como era esperado. A utilização da haste sulcadora na linha de semeadura e de escarificador, proporcionaram redução dessa resistência para cerca de 1 MPa.

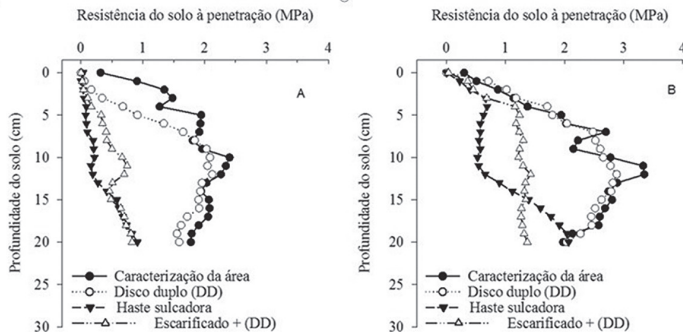


Figura 5. Resistência do solo à penetração em dois anos; A=2013/14 e B=2014/2015. Caracterização da área e efeito de mecanismos da semeadora como disco duplo e haste sulcadora na linha de semeadura, e com escarificação. Adaptado de Sartori et al. (2015).

A presença de camada compactada reduz o armazenamento de água no solo na região de maior volume de raízes e nódulos, fazendo com haja frequentes estresses tanto por deficiência hídrica como por deficiência de oxigênio. Ela favorece também a morte de plantas por fungos de solo como por exemplo, *Phytophthora* e *Fusarium*, entre outros, especialmente na fase de implantação da lavoura. O menor volume de raízes implica em menor absorção de nutrientes do solo, afetando a nodulação e por consequência o nitrogênio para a planta, Marchesan et al. (2017). Uma estratégia, então, é favorecer o ambiente radicular para o desenvolvimento da soja, através da drenagem de subsuperfície, fazendo com que o excesso de água seja retirado da região de maior concentração de raízes, permitindo oxigenação do sistema radicular e nódulos.

Nesse sentido, trabalho de Muller (2015), mostra uma estimativa de que a soja em área com presença de camada compactada experimenta menos de 40% do seu ciclo em condição ótima de oxigênio na camada de 0-10cm e apenas 12% na camada de 10-20cm. Quando foi realizada a escarificação do solo, a soja experimentou 75% do ciclo em condição ótima de oxigênio na camada de 0-10cm e 37% do tempo na camada de 10-20cm. Essa melhor condição de aeração, através da ampliação dos fluxos de gases e água, se refletiu na elevação do rendimento de grãos que foi de 47 sacos/ha na área sem mobilização e de 77 sacos/ha na área escarificada.

Assim, a melhoria do ambiente radicular é o "pulmão" da soja em áreas de arroz, pois tem relação com doenças, plantas daninhas, absorção de nutrientes, fisiologia, desenvolvimento de plantas e produtividade.

No entanto, tem-se claro o entendimento de que se está mobilizando muito o solo. Além do gasto de energia há perda de solo e de sua estrutura. Por outro lado, a possibilidade de uso de plantas de cobertura para modificar o ambiente onde se desenvolvem a maior parte das raízes da soja, ao invés da intervenção mecânica, é

uma área com poucas informações para ambientes de áreas de arroz e, portanto, com grandes oportunidades de avanços. Avaliar não apenas a palhada, mas o efeito das raízes do cultivo anterior à soja, apresenta-se como um tema que integra a parte física, química e biológica do solo.

Parte química do solo

É preciso considerar que há diferenças substanciais quanto a adubação necessária para arroz e soja, além das diferenças entre espécies. Enquanto o primeiro é cultivado em solo com lâmina de água e se beneficia de alterações químicas e biológicas do solo, a soja é cultivada em outra condição e com isso se estabelecem outras necessidades de adubação. O aprofundamento do sistema radicular e o maior volume de raízes depende também da parte química do solo. E a correção da acidez é fundamental para isso. Outra diferença se estabelece aqui; enquanto a calagem não é usual para arroz, mostra-se indispensável para a soja.

Mas, neste espaço, o objetivo é discutir e provocar reflexões sobre a necessidade de corrigir parte do perfil. A aplicação do calcário em superfície corrige uma camada de poucos centímetros do solo, devido sua pequena mobilidade no perfil, fazendo com que as raízes possam ter limitações químicas ao seu crescimento. Para exemplificar, tem-se o trabalho de Giacomeli et. al, (2014), apresentado na Tabela 1, onde se observa que mesmo seis meses após a aplicação, na linha de semeadura, apenas a camada de 0-5cm foi efetivamente corrigida, com pouco efeito a partir dessa profundidade.

Assim, fica a mensagem de que a incorporação do calcário é uma operação importante quando se inicia o processo de cultivo de soja em áreas de arroz. Ressalta-se que devem ser tomados cuidados para não “desuniformizar” a área com as operações e com o nivelamento da superfície do solo realizadas após a calagem.

Tabela 1. Diagnóstico para acidez do solo e calagem, em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades em 20 pontos no sulco de semeadura, quatro meses após semeadura e seis após a calagem com 3.000 kg ha⁻¹. Santa Maria, RS, 2014.

Camada (cm)	PH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)		Índice SMP
							Al	Bases	
0-5	6,2	8,7	3,9	0,0	1,7	12,8	0,0	88,0	6,8
5-10	4,7	5,4	2,1	1,1	4,9	8,7	12,6	60,5	5,9
10-20	4,8	4,6	1,6	1,2	6,2	7,4	16,2	50,2	5,7
20-30	4,5	3,5	1,2	2,1	9,7	6,8	30,9	30,9	5,3

Fonte: Giacomeli et al, 2014.

Manejos conservacionistas – favorecendo a parte biológica

Neste ambiente de áreas de arroz é frequente a necessidade de mobilização do solo para recompor o nivelamento da superfície, que foi alterada por operações de colheita, por exemplo, em condições de umidade elevada do solo. A presença permanente de plantas, com a menor mobilização possível do solo, possibilita o desenvolvimento de outro pilar na construção do potencial de produção do solo, que é a parte biológica através de raízes e da parte aérea das plantas. Com a redução de estresses promovidos pela parte física do solo e o ajuste da parte química, as condições estão estabelecidas para a melhoria de atributos da parte física, química e biológica do solo melhorando o ambiente de produção dos cultivos. É preciso avanços quanto ao manejo da palhada remanescente no momento da semeadura, especialmente de plantas como o arroz e o milho, de modos a não prejudicar o estabelecimento do cultivo seguinte. Outra oportunidade importante de manejo sustentável está relacionada a plantas de cobertura, inclusive com novas espécies, gramíneas, leguminosas ou mix de espécies, especialmente durante o período do inverno. Forrageiras no período de verão é outro aspecto que vem demandando informações, ne-

cessidade fortalecida pela presença da pecuária e contribuindo para uso mais intensivo do solo.

A ciclagem de nutrientes é outro ponto importante. A sobresemeadura, ou a semeadura após a colheita com espécies como o azevém e/ou aveia, por exemplo, tanto em soja como em arroz, faz com que os nutrientes liberados pela decomposição das plantas permaneçam no sistema. Espécies leguminosas como trevos, entre eles o trevo persa, constituem alternativas de melhoria para o cultivo seguinte.

Mas é preciso estar atento às melhores sequências de espécies quanto a aspectos sanitários de doenças, pragas, nematoides, bem como para possíveis desequilíbrios provocados pelas estratégias de manejo de uso de espécies e sua palhada. Nesse sentido, questões como o manejo dos herbicidas nas diferentes culturas, de modos que seu efeito residual não prejudique a cultura seguinte também deve estar entre os fatores a avaliar neste manejo mais intensivo de uso da área.

O controle de plantas daninhas, associado a cobertura vegetal no período outono/inverno vai adquirindo cada vez mais importância. Na medida em que se melhora a drenagem, outras espécies de plantas daninhas aumentam sua população neste ambiente, exigindo controle. Diz-se que planta daninha é planta de oportunidade, portanto, a utilização de plantas de cobertura também tem o papel de dificultar o surgimento de invasoras, pela proteção do solo evitando deixar espaços e oportunidades para outras espécies se estabelecem. Mas, existem dificuldades de manejar a palhada para não interferir na semeadura do próximo cultivo de verão, especialmente onde não há integração com pecuária e particularmente em anos chuvosos no período de semeadura.

E, por fim, a integração com a pecuária completa o processo, aparecendo a necessidade de tratar a produção nesse ambiente como um sistema de produção, ao invés de cultivos isolados. Em sistemas cada vez mais

intensificados há que se atentar para que seja feita a reposição de nutrientes extraídos ao solo através das colheitas. Nesse sentido, a adubação do sistema, ao invés de apenas do cultivo isolado, é outra área de grande demanda de informações de pesquisa. Hoje, em função do mercado estar viabilizando economicamente diversos grãos e a produção animal, há necessidade de mais esforços de pesquisa, para contemplar diferentes sistemas de produção em sucessão e/ou rotação de culturas em áreas de cultivo de arroz.

Alguns resultados de pesquisa mostrando a importância e a evolução dos manejos na implantação da cultura.

Emergência e mortalidade de plantas – ainda um grande desafio de soja em áreas de arroz. A Figura 6 apresenta imagem de cultivares de soja em áreas de arroz com presença de camada compactadas próximo à superfície do solo, ao redor de 2MPa entre 8 a 20cm de profundidade. A morte de plantas ou a menor percentagem de emergência é um dos principais entraves neste ambiente, principalmente se não houver intervenção nesta camada mais compactada. Constatou-se 29% de morte de plantas até o estágio V3/V4 para, na área não escarificada, enquanto na área escarificada a percentagem de plantas mortas foi de 7%, para a média de todas as cultivares. No entanto, é importante ressaltar que há diferenças entre cultivares, devido à resistência genética a determinado patógeno. Escolher sempre cultivares de maior resistência/tolerância a fungos de solo bem como o lote de maior vigor, realizando eficiente tratamento de sementes, evidentemente sempre associado ao melhor desempenho produtivo da cultivar na região.

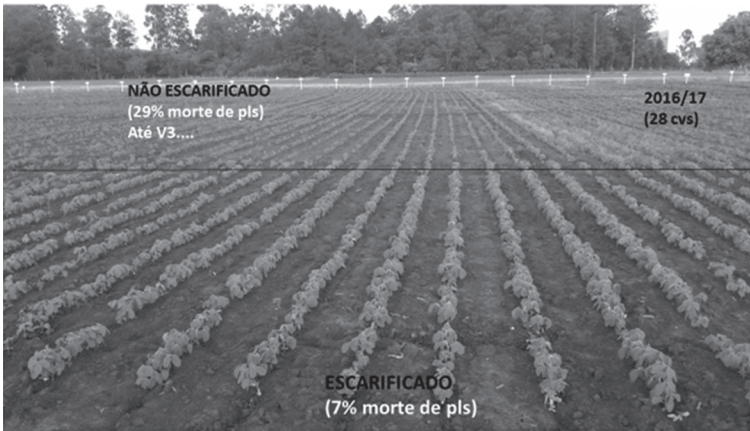


Figura 6. Percentagem de morte de plantas em área escarificada ou não. Média de 28 cultivares de soja. UFSM/GPAI.

A Figura 7 contém valores de morte de plantas em cultivares de soja de diferentes empresas fornecedoras de sementes, durante quatro anos, não sendo semeadas no sistema de sulcos/camalhões. Constatou-se que há variações entre anos, mas a escarificação do solo sempre apresentou menor percentagem de plantas mortas. Na média dos quatro anos, o manejo do solo escarificado foi eficiente em reduzir a morte de plantas, em experimentos conduzidos sem uso de sulco/camalhão. Na média houve redução de cerca de 50% de morte de plantas, mas o valor de 12,8% de plantas mortas ainda é alto, sugerindo que há que se melhorar este índice. Ressalta-se ainda, que aqui não foi considerado as sementes que não emergiram; apenas as plantas que morreram após terem emergido. Por isso, a busca pelo controle cada vez maior sobre o fluxo das águas e melhoria no ambiente radicular, associados a sistemas de implantação e maior controle da plantabilidade são alternativas para melhorar o estabelecimento da lavoura.

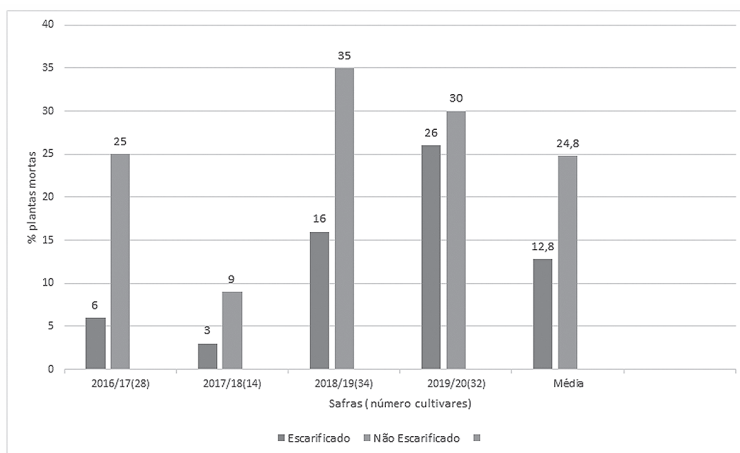


Figura 7. Morte de plantas em ensaios de cultivares realizados pelo GPAI/USM, em quatro safras.

No sentido de melhorar a plantabilidade, a Tabela 2 contém resultados de diferentes manejos de solo associados a mecanismos da semeadora visando uniformizar a deposição das sementes e a emergência de plantas. É conhecido que o uso da haste sulcadora na semeadora proporciona desuniformidade na deposição das sementes, com consequências no estabelecimento de plantas e desuniformidade de emergência. Destaca-se o mecanismo de acomodação do solo que, associado à haste sulcadora, proporcionou menor variação na profundidade de deposição das sementes, maior índice de velocidade de emergência, com menor morte de plantas e maior percentagem de emergência, o que se reflete em maior uniformidade de emergência. A haste sulcadora na semeadora auxilia de forma significativa no alívio de estresses em áreas com presença de camada compactada próximo à superfície do solo, constituindo-se em mais uma estratégia para ser utilizada.

Tabela 2. Distribuição vertical de sementes (variação na profundidade), índice de velocidade de emergência (IVE), percentagem de plântulas mortas e de plântulas emergidas em função do manejo do solo e de mecanismos sulcadores da semeadora em área de várzea compactada. Santa Maria - RS, 2019.

Tratamentos	Varição de prof. (cm)	IVE	Morte de plantas	Emergência
DD	2,2 a 7	13,1 c ¹	19,2 a	44,6 c
HS	2 a 9,8	21,1 b	3,6 c	73,1 a
HS + MAS	2,7 a 5,5	24,3 a	3,8 c	77,2 a
Escarificador Ripper + DD	1,5 a 7,5	20,5 b	5,3 c	70,5 a
Grade aradora = DD	1,8 a 7	19,0 b	12,5 b	56,7 b
Subsolador (Terrus) +DD	2,5 a 7,5	20,9 b	8,2 c	69,2 a
Média	-	20,2	8,8	65,2
CV (%)	-	12,0	49,0	13,2

¹ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

DD = disco duplo; HS = haste sulcadora; MAS = mecanismo acomodador do solo.

Fonte: adaptado de Coelho, L.L., 2022

As Tabelas 3 e 4 contêm resultados de produtividade de sistemas de implantação em função de mecanismos da semeadora, escarificação do solo e microcamalhão, com irrigação e sem irrigação. De maneira geral as produtividades mais elevadas foram constatadas com escarificação e microcamalhão, seguidos da haste sulcadora. O disco duplo não contribui para alívio de estresses em área com presença de camada compactada, mostrando sempre o desempenho inferior. Em anos com distribuição regulares de chuvas a percepção é de que os diferentes mecanismos apresentem produtividade não muito distantes entre eles, ocorrendo o contrário em anos com excesso de chuvas.

Tabela 3. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de implantação e de irrigação em soja em áreas de arroz. Cultivar BMX Tornado. Santa Maria, RS, 2014.

Tratamentos	Rendimento de grãos em kg ha ¹
Microcamalhão	4.001 a ¹
Escarificado	3.495 b
Haste sulcadora	3.356 b
Haste sulcadora desencontrada a 0,05m	3.234 b
Disco duplo	2.872 c
Irrigação ²	
Com Irrigação	3.517 a
Sem irrigação	3.267 b
Média	3.392
CV(%)	8,2

¹ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

² Irrigação de 54,4 mm realizada em V4 quando a umidade do solo encontrava-se em 58% da capacidade de campo.

Fonte: adaptado de Sartori et al., 2015

Tabela 4. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de implantação e de irrigação em soja em áreas de arroz, na safra 2018/19. Santa Maria, RS, 2019.

Tratamentos	Rendimento de grãos em kg ha ¹
Escarificado +disco duplo	4.484 a ¹
Haste sulcadora	4.405 ab
Microcamalhão	4.345 ab
Disco ondulado	4.272 ab
Disco duplo	4.082 b
Irrigação ²	
Com irrigação	4.444 a
Sem irrigação	4.132 b

¹ Médias não seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Fonte: Prochnow et al., 2019

Com relação à irrigação, realizada quando a umidade do solo se encontrava em 58% da capacidade de campo proporcionou acréscimo de cerca de 7% na produtividade, sendo realizada uma e duas vezes, respectivamente nos resultados das Tabelas 3 e 4. O uso de água, medido na safra 2013/14 (Tabela 3), com irrigação em V4 foi de 54,4mm, mostrando que a fase vegetativa também responde à irrigação.

Na Figura 8 encontram-se resultados comparando diferentes manejos de solo com escarificador, subsolador e mecanismos associados à semeadora. Observa-se o melhor desempenho do escarificador, seguido do subsolador e logo a seguir da haste sulcadora, com mecanismo de acomodação do solo após a haste sulcadora ou a haste sulcadora desencontrada da linha de semeadura. Há diferenças marcantes nestes manejos quanto à mobilização do solo que devem ser considerados, além da produtividade de grãos. Na Figura 9, tem-se a representação da mobilização do solo promovida por cada tratamento apresentado na Figura 8. Observa-se claramente a profundidade dos efeitos de cada manejo, bem como as enormes diferenças promovidas na área de atenuação da resistência do solo e, por consequência, no alívio de estresses para as plantas, o que se refletiu na produtividade de soja. Pode-se adotar também a combinação de manejos.

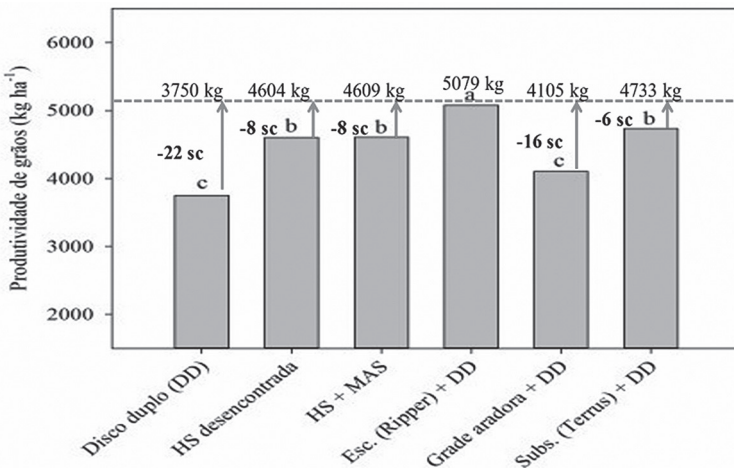


Figura 8. Produtividade de grãos da soja em função do manejo do solo e de mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora em área de várzea compactada. Santa Maria-RS, 2020. Scott Knott a 5%. Fonte: adaptado de Coelho, L., 2022.

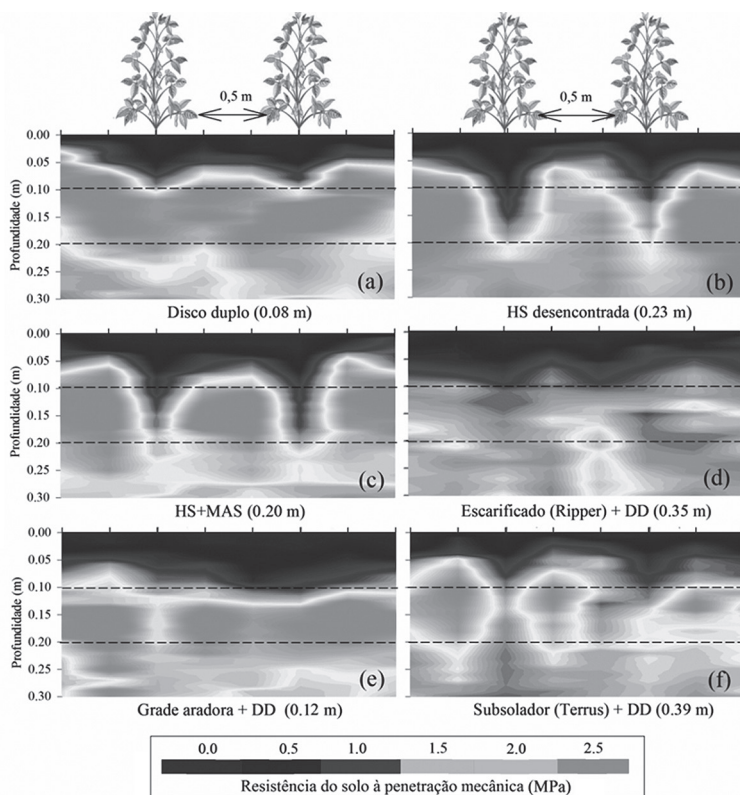


Figura 9. Distribuição da resistência do solo à penetração mecânica em semeadura DD (a), HS desencontrada (b), HS + MAS (c), escarificação (Ripper) + DD (d), grade aradora + DD (e) e subsolagem (Terrus) + DD (f) em área de terras baixas compactada. A umidade volumétrica média do solo na camada de 0-0,3 m de profundidade era de $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Safra 2019/20. Santa Maria, RS. HS: haste sulcadora, DD: disco duplo, MAS: mecanismo acomodador de solo. Fonte: Coelho, L.L., 2022.

A Figura 10 contém resultados do Projeto Sulco, coordenado pela Embrapa, com diversas empresas parceiras, na média de três safras com soja cultivada em áreas de terras baixas. São apresentadas as diferenças de rendimento de grãos cultivados neste sistema e em área de sequeiro, mostrando os ganhos com o uso da tecnologia. Este sistema encontra-se em franca expan-

são de uso no Estado, proporcionando segurança na drenagem e na irrigação, quando comparado a áreas sem uso de sulcos ou camalhões. O interesse de produtores e a disponibilidade de equipamentos e tecnologias por empresas do setor estão proporcionando rápidos avanços nessa área.

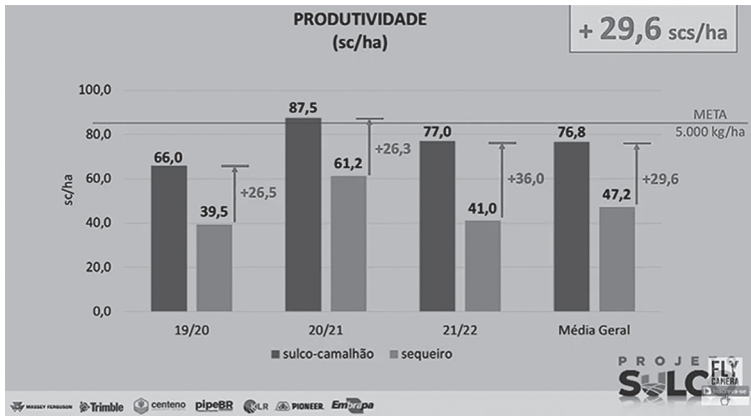


Figura 10. Resultados do Projeto Sulco em três safras.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=nRqIUoV-Opo> Acessado em 09/07/2022.

Recursos humanos – nova fronteira de avanços

Até agora se comentou apenas aspectos técnicos de produção das lavouras. A todo o momento são disponibilizadas novas tecnologias para melhorar os processos. E cada cultivo tem suas recomendações de manejo, com especificidades muito distintas como arroz irrigado por inundação e cultivos como soja, por exemplo, representando grupo de cultivos sem presença de lâmina de água na área. É necessário o domínio de cada cultivo e também do sistema que eles fazem parte.

Assim, tão importante quanto as tecnologias são as pessoas, que são responsáveis pela sua adoção na época de maior resposta de cada espécie cultivada. Elas que vão fazer as coisas acontecerem ou não. Este é o grande investimento que tem que ser feito na lavoura; as pessoas. Mas tem que ser de forma continuada, pois

o avanço das tecnologias é muito rápido e a equipe tem que estar atualizada. As geotecnologias, que garantem mais assertividade com relação a gestão das águas, estão evoluindo rapidamente. E o esforço de capacitação é maior ainda, porque tem-se a possibilidade de cultivos de grãos, forrageiras e produção animal.

Planejamento, equipe, atitude, capacitação, profissionalismo, liderança, e educação continuada. E como nos esquecemos disso! Parte das vezes discute-se apenas o aspecto tecnológico e econômico, dando menor relevância de como e quem vai viabilizá-lo, operacionalmente.

Por isso, quando se discute esta questão com a equipe nas reuniões de planejamento do empreendimento, é interessante debater com cada membro do grupo: *Qual o papel de cada um nessa "nova lavoura"?*

- *proprietário/empresário, - consultor/assistência técnica, - gerente/coordenador, - restante da equipe, - serviços fora da lavoura.*

Considerações finais

As condições de cultivo de soja em áreas de arroz são muito diferentes entre as regiões. Por isso é necessário acompanhamento técnico para a tomada das melhores decisões, incorporando novas tecnologias.

A soja é um cultivo muito importante para tornar os sistemas de produção em áreas de arroz mais sustentáveis técnica e economicamente. A possibilidade de rotacionar culturas de arroz e soja, auxilia no controle de plantas daninhas, diversas delas já apresentando resistência a herbicidas no cultivo de arroz. A soja proporciona facilidade na implantação de cultivos de inverno, realizando a ciclagem de nutrientes, mantendo o solo coberto e fornecendo a oferta de alimentos com alto valor nutricional numa proposta de integração da lavoura com a pecuária. Como atividade econômica, a soja constitui-se noutra fonte de renda para o setor e fornece alternativas de comercialização em momento diferente do arroz, auxiliando no fluxo de caixa da propriedade.

No entanto, é necessário organizar a área para receber este novo cultivo neste ambiente que envolve grau de risco na mesma proporção em que a área não estiver adequada quanto a aspectos de macro e micro drenagem. Drenagem é a palavra-chave, mas é preciso ter o domínio sobre o fluxo das águas. É necessário verificar também as condições para o desenvolvimento de raízes e nodulação da planta de soja; avaliar se há presença de camada subsuperficial compactada, sua localização e espessura e se houver restrições é necessário realizar intervenções. O objetivo é reduzir a duração e os períodos de estresses da planta por deficiência hídrica ou por deficiência de oxigênio.

Para receber cultivos como a soja, há a necessidade de adequação da área, especialmente quanto a drenagem. No entanto, no planejamento de adequação, cada vez mais se nota a preocupação de organizar também o sistema de irrigação para períodos de restrição hídrica. Drenagem e irrigação proporcionam estabilidade de produção, gerando confiança para buscar maior produtividade e sustentabilidade.

A implantação da lavoura é operação responsável por grande parte do sucesso. E para soja em ambiente de áreas de arroz a etapa de estabelecimento da lavoura é crítica, em função de excesso ou de falta de umidade no solo. Por isso, ressalta-se a importância da área que deve estar pronta para a semeadura de forma antecipada. Em função do pequeno número de dias com oportunidades de semeadura ou "janelas de plantio" como é expressão usual, a meta é "na hora de semear, só semear", ou seja, concentrar todos os recursos apenas na operação de semeadura, para não perder a época de maior potencial de resposta em produtividade.

Quanto ao sistema de implantação e manejo da área, se vai ser utilizado escarificação ou operações similares, ou sulco/camalhão ou apenas mecanismos da semeadora, é uma decisão que precisa de acompanhamento técnico para viabilizar em cada condição. A corre-

ta escolha das cultivares de soja é decisivo por exemplo, quanto a tolerância à morte de plantas, estabilidade e potencial produtivo. Se houver falhas na lavoura, além da redução da produtividade, haverá espaço para rein-festação com plantas daninhas.

Através dos resultados apresentados, percebe-se a evolução que se teve com relação à redução da morte de plantas, por exemplo. Os sistemas de manejo do solo também evoluíram muito, passando de áreas sem haste sulcadora e sem escarificação para cultivos em camalhões, sulco/camalhão e sulcos, associados a outros manejos de solo, refletindo-se em maiores produtividades. Estas possibilidades mostram as oportunidades que ainda se tem de avançar. Com as melhorias que a soja exige tanto em aspectos de drenagem como de irrigação para reduzir o grau de risco, se está potencializando o uso dessas áreas para outros cultivos de grãos como milho, trigo, forrageiras de inverno e de verão e com isso a integração com a pecuária.

E a abordagem agora passa a ser de sistema de produção, onde os manejos dos cultivos têm que estar integrados, de modos a que interajam positivamente, sem prejudicar o cultivo seguinte.

Por fim, a soja revitalizou a lavoura de arroz. E este aspecto é muito importante, porque, as áreas de arroz apresentam maior produtividade e renda, em função dos ganhos advindos com a rotação de culturas.

Ao mesmo tempo, se constitui numa outra fonte de renda, com os benefícios que proporciona na gestão financeira da propriedade.

Como toda a proposta nova, ainda não se tem domínio completo sobre suas exigências, ainda mais quando inseridas num sistema de produção. É recomendável iniciar em áreas menores, onde se aprende com os erros e acertos e se estabelecem novas necessidades. É o "cantinho da inovação" que vai orientar para os passos seguintes.

Referências

- COELHO, L. L.. Tese. **Manejo do solo para cultivo de soja em terras baixas**. Santa Maria, 2022. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia), Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- GIACOMELI, R. et al. Escarificação do solo e sulca-dores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasi-leira**, v. 51, p. 261-270, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300008>
- GOMES & PAULETTO Eds. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. 1999, 201p.
- IRGA 2021. <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202207/07101235-soja-em-rotacao-com-arroz.pdf>. Acessado em 18 de julho de 2022.
- MARCHESAN, E. Desenvolvimento de tecnologias para cultivo da soja em terras baixas. RECoDAF. **Revista Eletronica Competencias Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v.2, n.1 p. 4-19, ISSN 2448 – 0452, 2016.
- MARCHESAN, E. et al. Soil management and application of agricultural gypsum in a Planosol for soybean cultivation. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161102>
- MÜLLER, E. A. Dissertação. **Capacidade de preparos de solo reduzirem limitações físicas naturais de áreas de várzea para o cultivo de soja**, 2015. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Dissertacoes/EDUARDO-AUGUSTO-MULLER.pdf>
- PROCHNOW, M. Sistemas de implantação e irrigação por superfície em soja cultivada em área de terras baixas. In: **Anais XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. Resumo expandido Balneário Camboriú –13 a 16 de agosto de 2019.

- SARTORI, G.M.S.; et al. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1139-1149, 2015. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/136567/1/Rendimento-de-graos-de-soja.pdf>
- SARTORI, G.Z.M. et al. Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in lowland areas. **Ciência Rural**, v. 46, n.9, 2016; <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151579>
- VEDELAGO, A. et al. 2012. **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arroseiras do Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de pesquisa. 48 p.

4 – Controle de Plantas Daninhas

MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA EM COXILHA

Leandro Galon¹, Leandro Vargas², Mauro Antonio Rizzardi³ e Siumar Pedro Tironi⁴

¹ Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), ERS 135, km 72, n 200, Caixa Postal 764, CEP 99700-970, Interior de Erechim/RS, Brasil. Email: leandro.galon@uffs.edu.br

² Embrapa Trigo, Rodovia BR-285, km 294, Caixa Postal 3081, CEP 99050-970, Passo Fundo/RS, Brasil. Email: leandro.vargas@mbrapa.br

³ Universidade de Passo Fundo (UPF), BR 285, km 171, Campus São José, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil. Email: rizzardi@upf.br

⁴ Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Rodovia SC 484 - km 02, Bairro Fronteira Sul, CEP 89815-899, Chapecó/SC, Brasil. Email: siumar.tironi@uffs.edu.br

Introdução

As infestações de plantas daninhas esta entre as principais causas de diminuição da produtividade da soja. As plantas daninhas, quando não controladas, competem com as culturas pelos recursos água, luz e nutrientes. A competição por esses recursos do meio torna-se importante principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja, que podem resultar em perdas na produtividade de até 80% ou em casos extremos, impedir as operações de colheita (FLECK et al., 2004; VARGAS & ROMAN, 2006; GALON et al., 2019).

Além de diminuir a produtividade da cultura, as plantas daninhas causam outros problemas, como reduzir a qualidade do grão, ocasionar perdas e dificuldades durante a colheita, além de servir como hospedeiras de insetos e doenças. O papel das plantas daninhas como hospedeiros alternativos de insetos-pragas e doenças da soja e sua interferência nas operações de cultivo, resultam em custos mais elevados de produção. As plantas daninhas podem ainda liberar toxinas prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

Algumas espécies de plantas daninhas podem ser hospedeiras de pragas que irão atacar a soja. Na Figura

1 percebe-se a infestação de leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), corda-de-violão (*Ipomoeae indivisa*), picão-preto (*Bidens pilosa*), caruru de mancha (*Amaranthus lividus*) e trapoeraba (*Commelina difusa*), sendo que as três últimas podem hospedar nematóides do gênero *Meloidogyne* e do vírus do mosaico do fumo, além de todas elas serem muito competitivas com a cultura pelos recursos disponíveis no meio como (BLANCO, 2014).

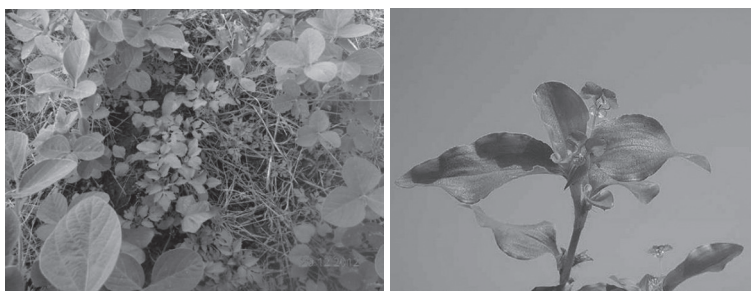


Figura 1. Plantas daninhas infestantes da cultura soja e hospedeiras alternativas de algumas pragas.

As plantas daninhas apresentam características que lhes conferem elevada agressividade, mesmo em ambientes adversos. Com produção de elevado número de sementes, dormência das sementes, germinação escalonada, mecanismos de dispersão eficazes e heterogeneidade da população, são muito importantes para o estabelecimento da comunidade infestante durante o desenvolvimento das culturas. Durante esta fase, as plantas daninhas podem absorver rapidamente recursos e ocupar espaço em função de sua capacidade competitiva (RIZZARDI et al., 2003; FORTE et al., 2017).

A competição é definida como a condição que existe quando os recursos ou condições demandadas por um ou mais organismos em uma comunidade não podem ser supridos adequadamente para todos. Como competição envolve muitos fatores diretos e indiretos, é muitas vezes preferível considerá-la como uma interferência de uma comunidade vegetal em outra, em vez de competição. A interferência é um fenômeno natural

em uma comunidade vegetal, onde existe limitação de recursos, e tende a ser mais prejudicial para os concorrentes quanto mais semelhantes forem suas demandas, exigências ambientais e hábito vegetativo, ou mesmo espécies diferentes, mas que apresentam elevada habilidade competitiva pelos recursos do meio.

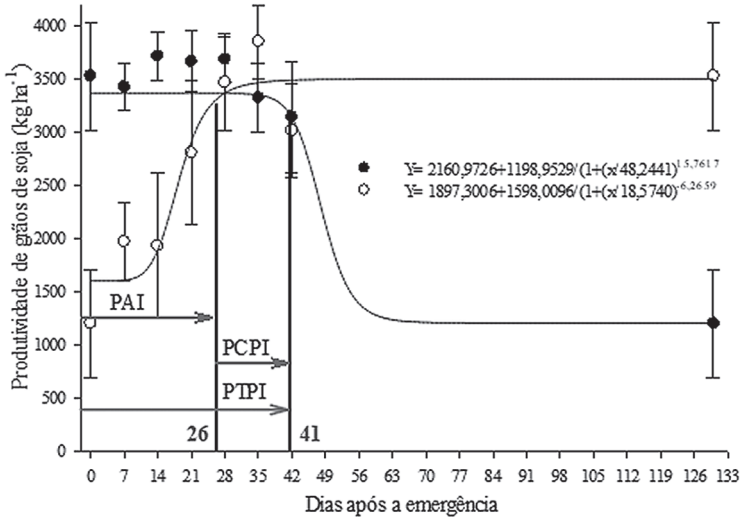


Figura 2. Produtividade de grãos da soja (kg ha⁻¹) cultivar Brasmax Elite, em função dos períodos de convivência (●) e de controle (○) de papuã (*Urochloa plantaginea*). PAI: período anterior a interferência; PTPI: período total de prevenção a interferência e PCPI: período crítico de prevenção a interferência. Barras verticais correspondem ao desvio padrão da amostra. * Significativo a p ≤ 0,05. Dados originais não publicados.

O período crítico de prevenção a interferência de plantas daninhas infestantes da soja na Região do Alto Uruguai do Rio Grande do Sul é de 26 a 41 dias após a emergência da cultura - DAE (Figura 2), ou seja, fase essa que há necessidade de se controlar as plantas daninhas para que não haja efeito negativo no crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente na produtividade de grãos. Já o período anterior a interferência, em que as plantas daninhas podem conviver com a cultura vai até os 26 DAE e o período total a prevenção da interferência

é 41 DAE (dados não publicados). Salienta-se, no entanto, que os períodos críticos de controle são variáveis para cada região produtora de soja do Brasil, conforme as características de solo, de clima, a cultivar semeada, manejo adotado com a cultura, dentre outros aspectos, que podem aumentar ou diminuir essas fases de convivência ou de controle das plantas daninhas infestantes da soja.

Nos agroecossistema agrícolas, as plantas daninhas mostram vantagem sobre as espécies cultivadas, porque suas características de sobrevivência e agressividade são normalmente mais aprimoradas. Outro aspecto importante, na interferência, é a capacidade das plantas daninhas em reduzir ou prevenir o acesso das culturas aos recursos. Assim, quando estes são limitados, as plantas daninhas quase sempre se destacam devido à sua maior eficiência em capturar ou usar os recursos disponíveis. Cabe aos técnicos e agricultores adotarem métodos de controle de plantas daninhas e práticas culturais que visem favorecer a cultura em detrimento da comunidade infestante.

Métodos de controle de plantas daninhas em soja

A redução da competição pode ser alcançada pela adoção de amplo espectro de ferramentas e herbicidas existentes no mercado, mas as estratégias de manejo não estão relacionadas apenas ao uso de herbicidas (FLECK et al., 2004; GALON et al., 2019). O controle efetivo das plantas daninhas consiste em suprimir o desenvolvimento e/ou diminuir o número de plantas daninhas por área, até um nível aceitável de coexistência entre as espécies envolvidas seja atingido, com danos mínimos para ambos. Na cultura da soja, o controle das plantas daninhas pode ser alcançado ao se adotar um ou mais métodos de controle, que são didaticamente agrupados em preventivo, mecânico, físico, químico, biológico e cultural. Os produtores devem, no entanto, utilizar o manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), que consiste na aplicação de dois ou mais desses métodos conjuntamente.

O MIPD incorpora vários métodos de prevenção, exclusão, monitoramento e supressão de plantas daninhas, amparado pelo conhecimento da biologia dos agroecossistemas. A prevenção consiste no conjunto de práticas de manejo que visam impedir a entrada, o estabelecimento e a disseminação de espécies em áreas que ainda não se encontram infestadas (SILVA et al., 2007a). A exclusão usa de formas de manejo para eliminar ou excluir as plantas daninhas que ocasionam problemas ao infestarem a soja. O monitoramento consiste em adotar medidas de manejo que permitam o acompanhamento da lavoura e adotar táticas de controle quando realmente será necessário ou quando a planta daninha estiver ocasionando algum dano econômico. E por fim, a supressão refere-se o uso de táticas de manejo que impedem o crescimento e o desenvolvimento de espécies ocorrentes na cultura da soja, deixando a cultura mais competitiva pelos recursos do meio, por exemplo, o uso de cobertura do solo (Figura 3) como aveia-preta, ervilhaca, nabo ou a misturas dessas para evitar ou reduzir a emergência de plantas daninhas.

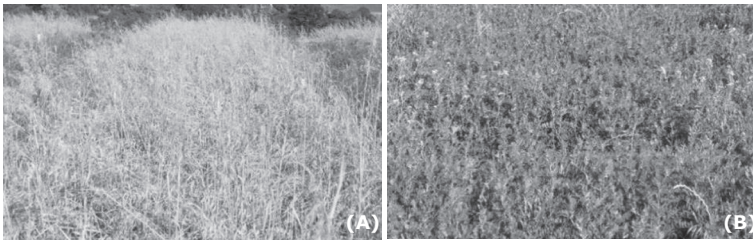


Figura 3. Cobertura de solos de aveia-preta (A) e de ervilhaca (B).

Na atualidade tem-se muitos problemas de controle de plantas daninhas, tanto em dessecações como na limpeza das culturas, exemplos como a buva (*Conyza* spp.), azevém (*Lolium multiflorum*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), caruru (*Amaranthus* spp.), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), corda-de-viola (*Ipomoea* spp.), dentre outras, por serem resistentes ou tolerantes ao glyphosate. Isso deve-se ao fato de que o contro-

le adotado não leva em consideração as premissas de bom programa de manejo que devem permitir a máxima produção no menor espaço de tempo, com máxima sustentabilidade de produção e o mínimo risco econômico e ambiental. Sendo assim para se adotar o MIPD torna-se necessário o conhecimento da biologia dos agroecossistemas, tendo-se como ferramentas conhecimentos em botânica, fisiologia vegetal, biologia molecular, climatologia, tecnologia de aplicação, fitotecnia, solos, dentre outros.

O desenvolvimento do MIPD foi motivado por um anseio de proporcionar aos produtores rurais métodos sistemáticos para reduzir a dependência dos herbicidas e, conseqüentemente, retardar a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes bem como reduzir a contaminação dos agroecossistemas agrícolas. O uso do MIPD facilita o controle de plantas daninhas durante o ciclo da cultura. Práticas culturais como o preparo do solo, adubação, escolha da cultivar, época de semeadura, densidade de plantas e rotação de culturas, devem ser adotadas para beneficiar o desenvolvimento das culturas, e em alguns casos pode reduzir ou eliminar a necessidade da aplicação de outros métodos de controle, em especial os herbicidas.

Manejo preventivo

O controle de plantas daninhas é mais difícil após o seu estabelecimento, assim, prevenir o surgimento é geralmente mais fácil e custa menos do que o controle depois do estabelecimento. De acordo com Silva et al. (2007a), o manejo preventivo das plantas daninhas engloba o uso de práticas que visam impedir a introdução, o estabelecimento e/ou a proliferação de espécies problemáticas em áreas ainda não infestadas por elas.

Em nível federal e estadual, existem leis que regulamentam a entrada de sementes no país ou estado e sua comercialização interna. Sob essas leis são definidos os limites toleráveis de sementes de cada uma das espécies daninhas e também a lista de sementes proibidas de serem comercializadas junto às sementes

da soja. Localmente, é da responsabilidade dos agricultores e das cooperativas evitar a entrada e disseminação de uma ou mais espécies daninhas que podem se tornar sérios problemas para a região. Em resumo, o elemento humano é a chave para o manejo preventivo. A ocupação eficiente do espaço do agroecossistema pela cultura reduz a disponibilidade dos fatores apropriados para o crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas, e pode ser considerado um método de integração entre preventivo e cultural. Algumas das medidas que podem evitar a introdução de espécies de plantas daninhas são: uso de sementes de alta pureza e certificadas, limpeza de máquinas e equipamentos oriundos de outras áreas; limpeza de canais de irrigação; implantação de quebra-vento; quarentena de animais introduzidos na área, *roguing* em áreas infestadas, etc. Muitas culturas apresentam suas sementes contaminadas com sementes de espécies daninhas, especialmente daquelas cujo tamanho e forma das sementes se assemelham aos da cultura, como por exemplo, o feijão (*Vigna unguiculata*). A contaminação, geralmente, acontece durante a colheita, quando as plantas daninhas com ciclo de vida semelhantes aos da cultura também estão produzindo suas sementes. Mesmo pequena quantidade de sementes contaminantes pode representar infestação elevada na safra seguinte. Deve-se focar na minimização da infestação e consequente na produção de sementes, e na disseminação destas sementes para áreas ainda não infestadas.

O controle de plantas daninhas é alcançado pela redução do número de plantas e propágulos até o ponto em que a sua presença não interfira seriamente na produção. O planejamento do controle em áreas já infestadas por plantas daninhas deve ser feito de tal forma que o acúmulo de sementes seja reduzido drasticamente dentro de curto período. Deve-se tomar cuidado para restringir o tamanho do banco de sementes através de métodos integrados de controle de plantas daninhas. Em sistema de plantio direto, sementes de plantas daninhas e voluntárias são depositadas na superfície do solo (FORTE et al., 2018b).

Controle cultural

A habilidade competitiva de plantas daninhas depende em grande parte do momento de ocorrência em relação ao estágio de crescimento da soja, de tal maneira que se a cultura germina mais rápido, ou se ocorre atraso no aparecimento das plantas daninhas, a competição será menor (FLECK et al., 2004). O controle cultural é o uso de práticas comuns para o correto manejo da água e do solo, rotação de culturas, a variação do espaçamento entre linhas das culturas, adoção de coberturas vivas, plantas de cobertura, dentre outros. A correção da fertilidade do solo, neutralizando o teor de alumínio (Al) e aumentando o pH, favorece a cultura e não determinadas plantas daninhas adaptadas às condições de solos ácidos e altos teores de Al. Adubação no sulco de semeadura também favorece a soja, de modo que o fertilizante está mais disponível à cultura do que às plantas daninhas nas entrelinhas. Essas práticas ajudam a reduzir o banco de sementes do solo consistindo, portanto, no uso das características ecológicas das culturas e das plantas daninhas, a fim de beneficiar o estabelecimento e desenvolvimento da primeira em detrimento da segunda.

Uma das principais práticas culturais é a rotação de culturas. Seus benefícios dependem da seleção de espécies e sua sequência no sistema. O cultivo contínuo de uma única cultura ou de culturas com práticas de manejo semelhantes permite que certas espécies daninhas se tornem dominantes no sistema e, ao longo do tempo, apresentem dificuldade para o controle (FORTE et al., 2018b). De acordo com Kelley et al. (2003), a produção de soja pode ser melhorada com a adoção de rotação de culturas como uma prática importante de manejo, principalmente de pragas ocorrentes na cultura. Estudos tem mostrado redução na produtividade quando a soja foi cultivada continuamente em monocultura comparado a áreas em rotação com outras culturas (FORTE et al., 2018a e b). No curto prazo, o benefício da rotação de culturas foi o aumento da produtividade de soja, o

que provavelmente melhorou a rentabilidade. No longo prazo, a rotação com culturas com coberturas como ervilhaca + aveia-preta, ervilhaca + aveia-preta + nabo, ervilhaca e aveia-preta (Figura 4), além de aumentarem significativamente as concentrações de nitrogênio e carbono total do solo ao longo do tempo também dificultam o desenvolvimento de muitas espécies de plantas daninhas o que melhorou a produtividade da soja (FORTE et al., 2018a e b). A semeadura de coberturas de inverno (aveia-preta, ervilhaca, centeio, nabo ou o consórcio destas), além dos benefícios físicos, químicos e biológicos ao solo, reduzem também a germinação de plantas daninhas fotoblásticas positivas, como exemplo a buva.

Em trabalho conduzido por Rizzardi & Silva (2014) observou-se que quando a soja foi semeada em área de pousio de inverno, a produtividade foi em média 8% inferior do que quando semeada em áreas com cobertura de aveia-preta e trigo. O principal objetivo do uso de plantas de cobertura é a substituição de uma população de plantas daninhas de difícil controle por uma cobertura de plantas de manejo mais fácil. Para tanto, deve-se selecionar a fenologia das plantas de cobertura para que elas ocupem o nicho ecológico que na sua ausência fosse ocupado por plantas daninhas. Forte et al., (2018a) ao avaliarem diferentes cobertura do solo (aveia-preta, ervilhaca, nabo, aveia-preta + ervilhaca, aveia-preta + nabo, nabo + ervilhaca), por três safras consecutivas de soja constaram que as espécies de inverno interferiram negativamente no número de espécies de plantas daninhas encontradas na área, sendo que o consórcio de aveia-preta e ervilhaca proporcionou o máximo de controle de plantas daninhas infestantes da cultura. Desse modo as culturas de inverno podem ser utilizadas para inibir a germinação ou mesmo o surgimento de plantas daninhas em lavouras de soja, como relatam Forte et al., (2018a) ao usarem coberturas de solo no inverno essas proporcionaram ambiente desfavorável à emergência e estabelecimento das plantas daninhas, em especial o azevém.

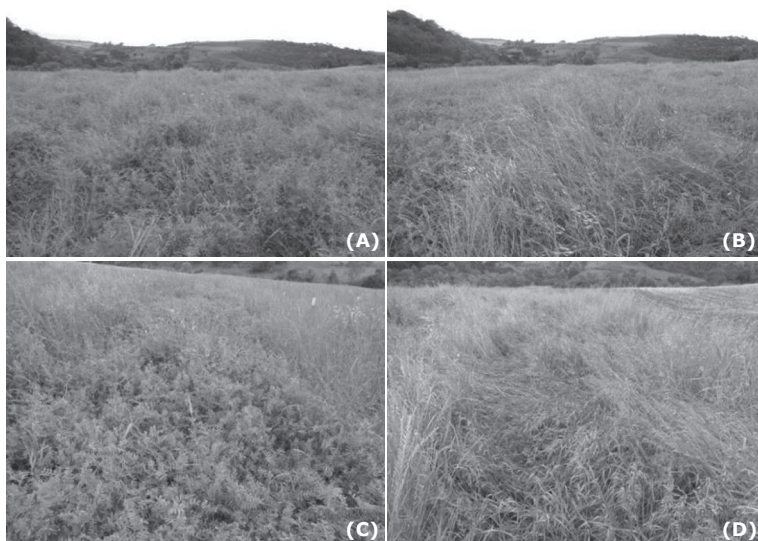


Figura 4. Coberturas de inverno antecedendo o cultivo da soja, ervilhaca + aveia-preta (A), ervilhaca + aveia-preta + nabo (B), ervilhaca (C) e aveia-preta (D). Diversas plantas daninhas são inibidas nesta sucessão, principalmente a buva.

O tremoço, a ervilhaca, o azevém, o nabo, a aveia-preta e o centeio são usados no sul do Brasil como plantas de cobertura de inverno para reduzir a infestação de plantas daninhas em lavouras. No trabalho de Forte et al., (2018b) os autores constaram que o sistema de plantio direto (SPD), com palhada de aveia-preta, ervilhaca, nabo, aveia-preta + ervilhaca, aveia-preta + nabo, nabo + ervilhaca, por três safras consecutivas ocasionou a diminuição do banco de sementes de plantas daninhas, independentemente da cultura semeada no verão (soja, milho ou feijão), coberturas de solo implantadas no inverno e/ou nas duas camadas de solos coletadas (0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade).

A diminuição do número de plantas daninhas estabelecidas em solo com o maior nível de cobertura vegetal (Tabela 1) pode ocorrer por várias causas: fatores físicos, tais como a palha, impedem a penetração da radiação solar no solo e diminuem a amplitude tér-

mica e hídrica do solo, atuando como barreira física ao crescimento normal das plântulas (FORTE et al., 2018b); fatores químicos, como a liberação de substâncias alelopáticas (REZENDES et al., 2020), ou mudanças na relação C:N e níveis de nitrato no solo; e fatores biológicos, como insetos e patógenos encontrados na camada de palha (FORTE et al., 2018b).

Tabela 1. Número de plântulas (kg solo^{-1}) emergidas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 cm e número total de plântulas de acordo com o sistema plantio direto (SPD) e o sistema plantio convencional (SPC). Quatro Irmãos/RS, UFFS, 2017.

Manejos	Camada de 0 a 10 cm	Camada de 10 a 20 cm	Nº de plântulas
SPD1	51,67cA ¹	23,83cB	75,50c
SPD2	36,50cA	11,00cB	47,50c
SPD3	41,67cA	26,33cA	68,00c
SPD4	49,00cA	24,50cB	73,50c
SPD5	69,00bcA	22,50cB	91,50c
SPD6	45,50cA	29,50cA	75,00c
SPC1	146,50aA	68,00bB	214,50ab
SPC2	93,50bA	98,50bA	192,00b
SPC3	134,33aA	140,67aA	275,00a
C.V (%)		22,62	17,76

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a $p \leq 0,05$. Fonte: Forte et al. (2018b).

De fato, nos tratamentos em que se teve palhada sobre o solo foi observado durante as avaliações plântulas menos vigorosas do que os tratamentos onde não houve cobertura morta sobre o solo (FORTE et al., 2018b). Esse fato torna as novas plântulas de espécies daninhas sensíveis ao ataque de pragas, aos danos mecânicos e suscetíveis ao ataque de predadores, fato esse também observado por (THEISEN & VIDAL, 1999) ao trabalharem com diferentes níveis de palhada no controle de plantas daninhas em soja.

Nas regiões subtropicais, mucuna, crotalárias, guandu, feijão-de-porco, lab-lab, brachiarias podem ser usados como coberturas mortas. O principal efeito con-

siste em reduzir o banco de sementes do solo, além de melhorar suas características físico-químicas. No entanto, estas plantas podem também ter outros efeitos reduzindo a infestação de algumas espécies daninhas após dessecação ou incorporação ao solo.

A presença da cobertura cria condições para instalação de uma microbiota densa e diversificada no solo, em especial na camada superficial, com quantidade elevada de microrganismos responsáveis pela eliminação de sementes dormentes por deterioração e perda de viabilidade. Tanto a composição como a densidade da população de plantas daninhas são influenciados pelo nível de cobertura no sistema de produção (CORREIA et al., 2006), devido aos efeitos químicos, físicos e biológicos (BHOWMIKA & INDERJIT, 2003).

Assim, dentre as inúmeras vantagens atribuídas ao sistema de plantio direto - uma prática que mantém o solo coberto por resíduos culturais - destaca-se a melhoria no controle de plantas daninhas. Trezzi & Vidal (2004) relataram que a presença de resíduos de sorgo (4 t ha^{-1}) foi suficiente para reduzir 91, 96 e 59% a população de *Sida rhombifolia*, *Brachiaria plantaginea* e *Bidens pilosa*, respectivamente. De acordo com Silva et al. (2007c), em sistema de plantio direto, o uso de herbicidas sistêmicos dessecantes, junto ao não-revolvimento do solo, resultaram em excelente inibição da tiririca (*Cyperus rotundus*). Em dois anos neste sistema, é possível reduzir os níveis populacionais de tiririca em 90 a 95%, sendo que em três anos, a redução no número de tubérculos no solo pode chegar a mais de 90%.

A variação do espaçamento ou densidade na linha é outra prática que pode contribuir para a redução da interferência de plantas daninhas na cultura, dependendo da arquitetura da cultura e das espécies daninhas. A redução do espaçamento entrelinhas, muitas vezes proporciona vantagem competitiva para a maioria das culturas pelo maior sombreamento das espécies daninhas sensíveis. Neste caso, através da redução do es-

paçamento entrelinhas, desde que não exceda o limite mínimo, há aumento da interceptação de luz pelo dossel da cultura. Este efeito é dependente de fatores como as características morfofisiológicas de genótipos de soja, espécies daninhas presentes e época e condições edafoclimáticas no momento da emergência (FORTE et al., 2017).

Controle mecânico

O arranquio e a capina são os métodos mais antigos de controle de plantas daninhas, sendo ainda bastante utilizados em hortas e na remoção de plantas daninhas nas entrelinhas das culturas, regiões montanhosas e onde há predomínio de agricultura de subsistência (SILVA et al., 2007a). Entretanto, na agricultura mais intensiva e moderna, ou empresarial com áreas maiores, o alto custo da mão-de-obra e a dificuldade de encontrar trabalhadores para usar esse método tem gerado dificuldades no campo, sendo o método mecânico aplicado em algumas situações como complementar aos demais, em especial ao químico.

O controle mecânico pode assumir grande importância em campos de produção de sementes, sendo uma boa alternativa para o uso isolado ou como complemento para outros métodos de controle (GAZZIERO et al., 2003). De acordo com Silva et al. (2007c), o cultivo mecanizado, feito por cultivadores tracionado por animais ou tratores, é amplamente aceito na agricultura brasileira, sendo um dos principais métodos de controle de plantas daninhas em pequenas propriedades ou mesmo em maiores áreas antes do surgimento do controle químico, com uso de herbicidas. As principais limitações deste método são a dificuldade de controle de plantas daninhas nas linhas de semeadura, baixa eficiência quando realizada com solo úmido, e ineficiência para controlar espécies que se reproduzem por partes vegetativas, tais como *Cyperus rotundus*, *C. esculentus*, *Cynodon dactylon*, *Commelina diffusa*, *C. benghalensis*,

Sorghum halepense, *Digitaria* spp., dentre outras. No entanto, todas as espécies anuais quando jovens (2-4 pares de folhas), são facilmente controladas em condições de calor e de solo seco.

Nos sistemas de cultivo convencional, com revolvimento de solo (aração e/ou gradagem), o manejo do solo promove o controle das plantas daninhas estabelecidas na área, antes da semeadura. Devido às desvantagens observadas (como a erosão), esse sistema vem sendo pouco utilizado pelos produtores de soja que buscam o manejo sustentável de suas lavouras (FORTE et al., 2018a e b).

Controle biológico

O controle biológico consiste no uso de inimigos naturais (fungos, bactérias, vírus, insetos, pássaros, peixes, etc.) capazes de reduzir a densidade de plantas daninhas em áreas cultivadas, incluindo o efeito alelopático de determinadas espécies sobre outras (GALON et al., 2016; Rezendes et al., 2020). Um bioherbicida é definido como um agente biológico que proporciona controle de plantas daninhas por meio de aplicações sequenciais de seu inóculo (CHARUDATTAN & DINOOR, 2000).

Nos Estados Unidos da América e em muitos outros países, a utilização de microrganismos como agentes de controle de plantas daninhas é considerada como uma aplicação de agrotóxicos e, portanto, esses agentes devem ser registrados ou aprovados como biopesticidas por agências governamentais apropriadas. Atualmente, uma espécie de fungo registrado como bioherbicida nos Estados Unidos para o controle de plantas daninhas em soja é o Collego[®], com base em *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene*, que é usado para controlar *Aeschynomene virginica*, uma planta daninha pertencente à família das Fabaceae, nas culturas de soja e arroz no Arkansas, Mississippi e Louisiana (CHARUDATTAN & DINOOR, 2000).

No Brasil Fernandes et al., (2014) isolaram um organismo fitopatogênico (168-B) como potencial bioherbicida para o controle de buva. Como resultados, houve o controle total das plantas de buva em todos os estádios fenológicos, com aplicações nas concentrações de 10^6 e 10^7 propágulos mL^{-1} do patógeno.

Controle químico

O uso de herbicidas proporciona diversas vantagens: controle em pré-emergência, eliminando as plantas daninhas precocemente e atingindo alvos que outros métodos de controle não controlam as plantas daninhas; reduz ou elimina o risco de danos para raízes e plantas jovens da cultura; não altera a estrutura do solo e reduz o risco de erosão; controla de forma mais eficiente plantas daninhas perenes; reduz a necessidade de mão de obra; aumenta a velocidade e eficiência da operação de controle reduzindo os custos por área tratada; controla as plantas daninhas por períodos mais prolongados, e pode ser utilizado em períodos de chuva, quando o controle mecânico não é eficiente e/ou quando o trabalho é necessário para outras atividades. No entanto, tem a desvantagem de exigir mão de obra qualificada uma vez que, se feito de forma inadequada, pode causar danos à cultura, ao meio ambiente e ao próprio aplicador, além de deriva em culturas não alvo, dentre outros. Embora muito eficazes no controle de plantas daninhas, os herbicidas podem promover o desenvolvimento de biótipos resistentes aos mesmos. De acordo com Oliveira Jr. et al. (2006), as estratégias mais comumente utilizadas no manejo de plantas de cobertura e plantas daninhas em áreas de plantio direto são reduzidas a três: (1) dessecação imediatamente antes da semeadura, (2) entre sete e dez dias antes da semeadura ou (3) dessecação antecipada com aplicação sequencial de herbicidas (Figura 5).

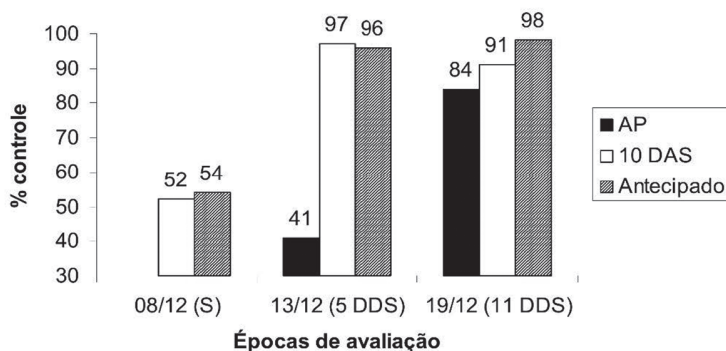


Figura 5. Porcentagens de controle de plantas daninhas (avaliação visual) proporcionadas por três sistemas de manejo antecedendo a semeadura direta da soja, na data da semeadura (S) (8/12) e em duas ocasiões depois da semeadura (DDS). AP: aplique-e-plante. DAS: 10 dias após a semeadura. Fonte: Oliveira Jr. et al. (2006).

A dessecação antecipada favorece o desenvolvimento da soja, proporcionando maiores ganhos de produtividade devido à menor infestação de plantas daninhas (Tabela 2). O sistema de manejo também afeta o fluxo de emergência de plantas daninhas após a emergência da soja, com menos reinfestações quando se efetua a dessecação antecipada e a segunda aplicação (sequencial) que controla possíveis fluxos iniciais de germinação (OLIVEIRA Jr. et al., 2006).

Tabela 2. Produtividade de soja (kg ha^{-1}), cultivar BRS-154, submetida a diferentes sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-emergência. Campo Mourão-PR – 2003/04

Sistemas de manejo	Tratamento em pós-emergência			
	Nenhum	Capina manual	Sequencial	Dose única
AP	2037,86 bB ¹	2404,12 aB	2396,71 aB	2372,02 aB
10 DAS	2181,89 bB	2538,27 aB	2534,16 aB	2538,27 aB
Antecipado	2424,69 bA	2930,04 aA	2920,17 aA	2790,12 aA
Testemunha absoluta	890,53			
CV(%)	6,31			

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas ou minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott Knott (5%). Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2006).

Procópio et al. (2006) realizaram um estudo comparando os efeitos de sistemas de manejo no controle das plantas daninhas; *Digitaria insularis*, *Synedrellopsis grisebachii* e *Leptochloa filiformis* antes da semeadura da soja em sistema de plantio direto. O controle foi satisfatório sem rebrota de *D. insularis* e *L. filiformis* quando o glyphosate foi aplicado cinco dias antes da semeadura da soja ou quando a aplicação desse herbicida foi seguida por aplicação sequencial de paraquat+diuron.

Os herbicidas não residuais como o glyphosate não controlam plantas que emergem após a aplicação, sendo que estas podem produzir sementes e reabastecer o banco de sementes do solo se outra prática de manejo posterior não for adotada. Por esse fato que barreiras físicas com uso de boa quantidade de palha de culturas de inverno como aveia-preta, trigo, centeio, triticale, ervilhaca ou a mistura dessas favorecem ou ajudam e muito no controle de muitas espécies.

A adição de um herbicida residual em associação ao glyphosate pode auxiliar no controle das plantas daninhas que venham a emergir após a aplicação, pelo efeito residual que esse herbicida proporcionará (SANTIN et al., 2019). De acordo com ARREGUI et al. (2006), vários herbicidas aplicados ao solo controlam plantas daninhas como *Ipomoea* spp., *Commelina* spp. e *Sida spinosa*. Dentre alguns pode-se citar o chlorimuron e o sulfentrazone que reduzem a densidade de *Ipomoea* spp., de *S. spinosa*, com diminuição do banco de sementes dessas plantas daninhas ao se aplicar imazaquin, metribuzin, sulfentrazone (ELLIS & GRIFFIN, 2002), cloransulam e diclosulam (REDDY, 2000) ou o uso de sulfentrazone + diuron, flumioxazin + imazethapyr e S-metolachlor para o controle de *Digitaria ciliares* e *Urochloa plantaginea* (SANTIN et al., 2019).

Os herbicidas de solo como metribuzin e imazaquin podem ser benéficos quando aplicados na época de maior pico de emergência das plantas daninhas, particularmente ao inibir aquelas onde apresentam tolerância ou resistência ao glyphosate. RAMIRES et al. (2010) ob-

servaram que o controle das espécies daninhas *E. heterophylla* e *I. grandifolia* foram melhores ao se aplicar os tratamentos no estágio de 1-3 folhas tanto para o herbicida glyphosate aplicado isoladamente (480 e 960 g ha⁻¹ de e.a.) como associado a cloransulam-methyl (30,24 g ha⁻¹), chlorimuron-ethyl (12,5 g ha⁻¹), imazethapyr (80 g ha⁻¹), fomesafen (62,5 g ha⁻¹), lactofen (72,0 g ha⁻¹), flumiclorac-pentyl (30,0 g ha⁻¹) ou bentazon (480 g ha⁻¹).

A associação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação como meio de manejo e prevenção da resistência é mais eficiente quando o sistema reprodutivo da planta daninha é de autopolinização, uma vez que a recombinação genética de diferentes alelos que conferem resistência é menos provável de ocorrer em plantas alógamas. Devido aos inúmeros casos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil, vários estudos foram realizados em busca de alternativas para o controle dessas plantas (ALONSO et al., 2013; AGOSTINETTO & VARGAS, 2014). Na Tabela 3 são listados os herbicidas alternativos adequados para a soja de acordo com a espécie daninha resistente ocorrente na área.

O comportamento das misturas de glyphosate com outros herbicidas pode variar conforme a dose de glyphosate, o herbicida utilizado em mistura, a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta daninha (RAMIRES et al., 2010).

Nonemacher et al. (2017), ao avaliarem o controle de milhã - *Digitaria ciliaris* (Tabela 4) e papuã - *Urochloa plantaginea* (Tabela 5) ao utilizarem o glyphosate em misturas com herbicidas de pré e de pós-emergência em soja observaram controles superiores a 88% dos 7 aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), chegando a 82% de controle das plantas daninhas na pré colheita da cultura. Desse modo fica evidente que a mistura em tanque de herbicidas com efeitos residuais ao glyphosate favorece que se controle as plantas daninhas por mais tempo ou que se mantenha a cultura no limpo até próximo da colheita.

Ressalta-se que em condições de seca durante o crescimento vegetativo da soja, aplicações de glyphosate, herbicidas pré ou pós-emergentes que necessitam de umidade no solo podem ser menos eficazes para o controle de plantas daninhas e a consequente competição pode reduzir a produtividade da cultura.

Tabela 3. Alternativas de herbicidas para o controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate usados em lavouras de soja no Brasil.

Plantas daninhas	Época de aplicação	Herbicidas alternativos
<i>Lolium multiflorum</i>	Pós-emergência	Clethodim, fluazifop-p, haloxyfop e sethoxydim
<i>Lolium multiflorum</i>	Dessecação	Ammonium-glufosinate e diquat
<i>Conyza bonariensis/C. canadensis</i>	Dessecação	Ammonium-glufosinate, chlorimuron -ethyl, diquat, 2,4 -D, metsulfuron-methyl e saftufenacil
<i>Conyza bonariensis/C. canadensis</i>	Pré-emergência	Diclosulam, imazethapyr+flumioxazin e sulfentrazone+diuron
<i>Conyza bonariensis/C. canadensis</i>	Pós-emergência	Chlorimuron-ethyl
<i>Digitaria insularis</i>	Pós-emergência	Clethodim e haloxyfop
<i>Digitaria insularis</i>	Dessecação	Diquat, ammonium-glufosinate, clethodim, haloxyfop
<i>Amaranthus retroflexus/A. viridis</i>	Dessecação	Ammonium-glufosinate, diquat e saftufenacil
<i>Amaranthus retroflexus/A. viridis</i>	Pós-emergência	Lactofen, fomesafen

Norsworthy (2004), avaliando o controle de plantas daninhas latifoliadas e o custo de herbicidas convencionais e de glyphosate em soja resistente ao glyphosate, descobriu que herbicidas pré-emergentes seguidos de glyphosate, controlaram *I. lacunosa* oito semanas após a emergência. O controle de *I. hederacea* com herbicidas pré-emergentes seguido da aplicação de glyphosate foi de 100%, similar ao obtido por chlorimuron mais sulfentrazone seguido por lactofen. No entanto, a competição com plantas daninhas no início do ciclo, quando uma única aplicação de glyphosate foi adiada em até quatro semanas, reduziu em 389 kg ha⁻¹ a produtividade da soja quando comparado ao glyphosate seguido de herbicidas pré-emergentes.

Em suma, para se adotar uma estratégia adequada de controle de plantas daninhas deve-se integrar as seguintes práticas:

1. Utilizar práticas agronômicas que limitem a introdução e disseminação de plantas daninhas, evitando problemas antes da ocorrência das mesmas;
2. Favorecer a cultura na competição com as plantas daninhas, ou seja, o uso de cultivares mais competitivas, boa fertilidade do solo, correto tratamento fitossanitário, dentre outros;
3. Utilizar práticas que mantenham as plantas daninhas em condições desfavoráveis e não permitam sua adaptação.

Tabela 4. Controle (%) de milhã (*Digitaria ciliaris*) na cultura da soja, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência. UFFS/Erechim/RS.

Tratamentos	Época de Aplicação	Controle de milhã (%)			
		7DAT ¹	14DAT	21DAT	P.C
Testemunhainfestada	...	0 ^c	0 ^b	0 ^d	0 ^b
Testemunhacapinada	...	100a	100a	100a	100a
Glyphosate	Pós	98b	100a	96a	98a
Glyphosate+clomazone	Pós+Pré	100a	100a	96a	97a
Glyphosate+flumioxazin	Pós+Pré	98b	99a	93b	96a
Glyphosate+diclosulam	Pós+Pré	100a	99a	95b	86a
Glyphosate+s-metolachlor	Pós+Pré	99b	99a	97a	98a
Glyphosate+(sulfometuron+chlorimuron)	Pós+(Pré)	100a	100a	88c	87a
Glyphosate+pendimethalin	Pós+Pré	98b	100a	98a	99a
Glyphosate+sulfentrazone	Pós+Pré	100a	100a	94b	99a
Glyphosate+imazethapyr	Pós+Pré	98b	100a	99a	100a
Glyphosate+clethodim	Pós	98b	99a	97a	97a
Glyphosate+chlorimuron-ethyl	Pós	98b	99a	98a	98a
Glyphosate+(sulfentrazone+chlorimuron)	Pós+(Pré)	100a	99a	92b	97a
Glyphosate+(imazethapyr+sulfentrazone)	Pós+Pré	100a	99a	97a	96a
Glyphosate+imazaquin	Pós+Pré	100a	99a	93b	93a
C.V.(%)		0,68	0,93	2,75	7,02

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. P.C: avaliação de controle em pré-colheita. ² Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, em cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a $p < 0,05$. Fonte: Nonemacher et al., (2017.)

O uso combinado das práticas agronômicas com base nestas regras permitirá ao produtor elaborar um programa de MIPD para sua realidade. Não há receita única para todas as condições e anos; o planejamento deverá ser modificado e atualizado continuamente.

O manejo adequado das plantas daninhas é alcançado através da redução do número de plantas e propágulos até o ponto em que a sua presença não interfira seriamente na produção. O planejamento do controle deve ser feito de tal forma que o acúmulo de sementes seja reduzido drasticamente. Deve-se tomar cuidado para restringir o tamanho do banco de sementes através de métodos integrados de controle de plantas daninhas. Em sistema de plantio direto, sementes de plantas daninhas e voluntárias são depositadas na superfície do solo (LOCKE et al., 2002; FORTE et al., 2018b), onde ficam mais expostas a ação de predadores, patógenos e dos efeitos climáticos.

Portanto, é necessária a adoção do MIPD, com integração de métodos de controle, tais como o preventivo, cultural, físico, biológico, mecânico e/ou químico, para evitar altas infestações de plantas daninhas e evitar competição com a cultura. Tem-se várias possibilidades de combinações de métodos de manejo de plantas daninhas, sendo prática comum, nos sistemas de produção que utilizam herbicidas, aplicados em diferentes modalidades, utilizarem em adição os métodos culturais, mecânicos, físicos e até mesmo o biológico. Nos sistemas de produção orgânica, a integração dos métodos supracitados torna-se prática obrigatória, já que não contam com os efeitos residuais dos herbicidas.

Tabela 5. Controle (%) de papuã (*Urochloa plantaginea*) na cultura da soja, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência. UFFS/Erechim/RS.

Tratamentos	Época de Aplicação	Controle de papuã (%)			
		7 DAT ¹	14 DAT	21 DAT	P.C
Testemunha infestada	...	0 ² c	0 b	0 c	0 b
Testemunha capinada	...	100 a	100 a	100 a	100 a
Glyphosate	Pós	98 b	100 a	94 b	97 a
Glyphosate+clomazone	Pós+Pré	100 a	99 a	91 b	95 a
Glyphosate+flumioxazin	Pós+Pré	98 b	100 a	97 a	95 a
Glyphosate+diclosulam	Pós+Pré	100 a	100 a	91 b	86 a
Glyphosate+s-metolachlor	Pós+Pré	98 b	100 a	99 a	96 a
Glyphosate+(sulfometuron+chlorimuron)	Pós+(Pré)	100 a	99 a	88 b	85 a
Glyphosate+pendimethalin	Pós+Pré	97 b	100 a	97 a	97 a
Glyphosate+sulfentrazone	Pós+Pré	100 a	100 a	94 b	86 a
Glyphosate+imazethapyr	Pós+Pré	98 b	100 a	99 a	99 a
Glyphosate+clethodim	Pós	98 b	99 a	92 b	92 a
Glyphosate+chlorimuron-ethyl	Pós	98 b	99 a	97 a	93 a
Glyphosate+(sulfentrazone+chlorimuron)	Pós+(Pré)	100 a	99 a	91 b	82 a
Glyphosate+(imazethapyr+sulfentrazone)	Pós+Pré	100 a	99 a	96 a	94 a
Glyphosate+imazaquin	Pós+Pré	99 a	99 a	92 b	93 a
C.V. (%)		0,79	1,07	3,01	11,48

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. P.C: avaliação de controle em pré-colheita. ² Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna, em cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a $p < 0,05$. Fonte: Nonemacher et al., (2017.)

Plantas daninhas resistentes a herbicidas em soja transgênica

O manejo de plantas daninhas nas lavouras de soja é caracterizada pela elevada demanda de herbicidas, sendo o controle químico o mais usado em função da praticidade, eficácia, rapidez e também pelo menor custo quando comparado a outros métodos de controle. No entanto, a maioria dos produtores tem apenas a visão imediatista do controle de plantas daninhas, o que pode levar a problemas ambientais, surgimento da resistência a médio e a longo prazo.

Aplicações repetidas de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação sobre uma população geneticamente diversificada de plantas daninhas ocasiona forte pressão de seleção e resulta na evolução da resistência (VARGAS et al., 2007). Como consequência, a população de plantas daninhas resistentes a herbicidas tem se expandido rapidamente em várias regiões, tornando-se um problema de difícil solução em muitas áreas com agricultura intensiva. Evidências sugerem que o aparecimento da

resistência a um herbicida em uma população de plantas deve-se à seleção de biótipos pré-existentes, que encontram condições propícias para propagação e prevalência (FERREIRA et al., 2009).

Em 2005 a soja resistente ao glyphosate foi liberada oficialmente para cultivo no Brasil. A partir deste momento, vários herbicidas e combinações de produtos têm sido substituídos por um único ingrediente ativo, o glyphosate. Este é um herbicida sistêmico usado para controle pós-emergente de gramíneas e dicotiledôneas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Em soja transgênica, é utilizado em aplicações isoladas ou em sequência, em doses e momentos variáveis. A tecnologia da soja resistente ao glyphosate foi prontamente aceita e adotada pelos produtores, que realizam em média três aplicações desse herbicida por ciclo da cultura da soja. Além disso, o glyphosate é o principal herbicida utilizado em culturas como pastagens, frutas, café, eucalipto e na dessecação para implantação do sistema de plantio direto (FERREIRA et al., 2009), o que agrava o problema do surgimento de plantas daninhas resistentes ao mesmo.

O manejo e os herbicidas usados em uma área causam alterações no tipo e proporção de espécies que compõem a população local. Isso é explicado pelo fato de que os herbicidas não controlam de maneira uniforme as espécies na área; assim, algumas acabam sendo beneficiadas e se multiplicam. Nestas situações, a ocorrência de plantas daninhas de difícil controle na área pode se tornar um problema sério para o produtor em pouco tempo (GALON et al., 2014). O planejamento técnico da aplicação de herbicidas resulta em menor risco de evolução de plantas resistentes, devendo sempre estar associado ao manejo cultural e à presença contínua de palha na superfície do solo (Figura 6).



Figura 6. A tecnologia de aplicação, com aplicação de herbicidas sob condições ambientais favoráveis, aliado à rotação de princípios ativos e presença de palha abundante na superfície do solo ao longo do ano maximizam os resultados de controle de plantas daninhas.

A buva (*Conyza* spp.) é um exemplo de planta daninha problemática na soja, com casos de resistência ao glyphosate em várias partes do mundo em áreas de soja transgênica. Experimentos conduzidos por VARGAS et al. (2007), MOREIRA et al. (2007) e LAMEGO & VIDAL (2008) demonstraram que a aplicação de 360 g ha^{-1} de glyphosate é suficiente para distinguir biótipos resistentes dos suscetíveis ao referido herbicida. Os fatores de resistência (GR_{50}) variaram entre 7 e 11 para *C. canadensis* (MOREIRA et al., 2007) e entre 2,4 e 15 (MOREIRA et al., 2007; LAMEGO & VIDAL, 2008) para *C. bonariensis*. Ressalta-se que a determinação do nível de resistência de populações suspeitas é fundamental para a tomada de decisões sobre as estratégias de seu controle. No momento são reconhecidos 56 casos de espécies de plantas daninhas resistentes ao glyphosate no mundo (HEAP, 2022).

Em quase sua totalidade a semeadura da soja no Brasil vem sendo efetuado no sistema de plantio direto (SPD), onde se alia o uso de herbicidas em dessecação da vegetação (com uso de glyphosate, diquat, amonio-glufosinate, saflufenacil, graminicidas, dentre outros) com o efeito dos resíduos de palhada que permanecem sobre o solo.

A cobertura do solo no SPD pode afetar as plântulas em desenvolvimento, em função da barreira física, o que causa o estiolamento das mesmas tornando-se

suscetíveis aos danos mecânicos. Pode ainda favorecer o desenvolvimento de insetos e fungos, sendo muitos desses predadores e patógenos de sementes e parte aérea de plantas daninhas. Entretanto aquelas plantas que conseguem sobreviver as dificuldades iniciais de estabelecimento quando a superfície do solo estiver bem coberta por restos de culturas, essas espécies podem ser beneficiadas pela baixa população o que as deixa em vantagem competitiva, assim sobram mais recursos do meio disponíveis ao crescimento e desenvolvimento (RIZZARDI & SILVA, 2014; FORTE et al., 2018a; FORTE et al., 2018b).

A implantação do SPD ocasionou o incremento do uso de herbicidas em substituição ao controle efetuado por meios mecânicos no cultivo convencional. O herbicida geralmente utilizado no SPD é o glyphosate. Em culturas transgênicas, além de ser usado na dessecação das coberturas de solo também é utilizado para o controle das plantas daninhas em pós-emergência. Porém, estudos têm demonstrado que o uso contínuo desse produto e quando manejado inadequadamente, tem ocasionado o surgimento de plantas daninhas resistentes (VARGAS et al., 2005; FERREIRA et al., 2008). Aplicações repetidas de glyphosate podem alterar a composição específica de plantas daninhas nas lavouras e favorecer a predominância de espécies tolerantes como *Andropogon* spp.; *Ambrosia elatior*; *Ipomoea* spp., *Richardia brasiliensis* e *Spermacoce latifolia*.

Na atualidade uma das recomendações para o manejo de plantas daninhas resistentes ou mesmo para evitar a resistência são as aplicações de herbicidas em mistura em tanque ou associados. Em trabalho de GALON (dados não publicados), constatou-se que ao se misturar dois produtos em tanque para a dessecação da buva antes da semeadura da soja houve um melhor controle da planta daninha, dos 14 aos 28 DAT, especialmente o glyphosate onde essa espécie é resistente ao mesmo e desse modo tem-se a necessidade de se efetuar misturas com outros produtos (Tabela 5).

Tabela 6. Controle de (%) de buva (*Conyza bonariensis*) aos 14 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos. UFFS, Erechim/ RS 2018/19.

Tratamentos	Controle (%) de buva	
	14 DAA ¹	28 DAA
Glyphosate	55 e ²	36 c
2,4-D	49 e	38 c
Glyphosate+sulfentrazone	63 d	36 c
Glyphosate+metsulfuron	84 b	88 a
Glyphosate+safinufenacil	94 a	84 a
Glyphosate+ 2,4-D	82 b	78 a
Glyphosate+flumioxazin	65 d	36 c
Glyphosate+chlorimuron	75 c	67 b
Paraquat+diclosulam	88 a	70 b
Paraquat	81 b	29 c
Glufosinato de amônia	95 a	83 a
Paraquat+diuron	85 b	37 c
Safinufenacil	90 a	71 b
Testemunha sem aplicação	0 f	0 d
C.V (%)	7,07	11,32

¹ Dias após a aplicação dos herbicidas. ² Médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%.

Portanto não se tem um melhor método de controle de plantas daninhas infestantes da soja, mas sim o mais adequado para cada situação específica, e para se ter vantagens no uso de dois ou mais métodos associados torna-se necessário estudar as condições da espécie infestante, da capacidade competitiva das cultivares de soja, do período crítico de competição, das táticas de manejo adotados, das condições edafoclimáticas, dentre outras.

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é um fenômeno em evolução no mundo e, em certos casos, pode restringir o uso de alguns herbicidas. Portanto, o problema deve ser manejado com uso de estratégias alternativas associadas à aplicação de herbicidas. A rotação de culturas é uma boa estratégia para quebrar o ciclo de vida das plantas daninhas, evitando a sua posição dominante na área e também a adoção do MIPD. Quando são aplicadas as mesmas técnicas culturais, ano após ano, no mesmo local, a interferência destas plantas daninhas é muito maior. Quando o objetivo principal é o controle de plantas daninhas, a escolha da cultura a ser implantada em rotação deve dar preferência a plantas

com hábitos de crescimento e características culturais muito contrastantes (FORTE et al., 2018a e b).

Assim, a alteração promovida no ambiente de crescimento das plantas daninhas de uma cultura para outra, associada à mudança nos herbicidas aplicados, contribuirá para o controle eficiente das espécies infestantes. A rotação de culturas é um método eficaz tanto na prevenção do aparecimento de biótipos resistentes como no manejo da resistência já estabelecida.

Soja modificada geneticamente e resistente a outros herbicidas que não o glyphosate

Na atualidade se tem cultivares de soja que são resistente ao glyphosate, mas também a outros herbicidas como o amonio-glufosinate, o 2,4-D colina e resistentes a lagartas, tecnologia denominada de soja Enlist®. Outras cultivares resistentes ao glyphosate e ao dicamba com denominação de soja Xtend®, com tecnologia Bt inserida nos seus cultivares também estão no mercado a disposição do agricultor. Já a soja Balance traz a inserção de tolerância aos herbicidas inibidores de carotenos, do grupo químico HPPD e não possui resistência ao glyphosate. Entre todas as tecnologias descritas anteriormente Balance ainda não esta disponível ao sojicultor.

Outras tecnologias que também estão sendo utilizadas como a soja Cultivance, liberada para o cultivo pela CTNBio, com tolerância aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase, pertencentes ao grupo das imidazolinonas, inclui herbicidas de uso em pré-emergência, com ação residual no solo e não possui resistência ao glyphosate. A soja liberty link (LL), foi inserido a resistência aos herbicidas inibidores da glutamina sintase, muito utilizada e aceita pelo produtor existindo cultivares com elevada produtividade a disposição do produtor. Na tecnologia LL não está inserida a resistência a insetos, além de ser sensível ao herbicida glyphosate.

Desse modo tem-se mais algumas “ferramentas químicas” para o controle de plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glyphosate, como a *Conyza* spp.,

Digitaria insularis, *Amaranthus palmeri*, *A. hybridus*, *Euphorbia heterophylla*, *Spermacoce latifolia*, *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea* spp., dentre outras. No entanto essas novas tecnologias caso sejam utilizadas do mesmo modo que foi a soja RR, sem rotação de culturas e de mecanismos de ação dos herbicidas, com problemas de tecnologia de aplicação também irão ocasionar problemas muito mais sérios para serem resolvidos e em curto intervalo de tempo entre o lançamento e as dificuldades de controle de plantas daninhas.

Desse modo essas novas tecnologias podem ser usadas e irão trazer benéficos ao sistema produtivo da soja aliadas a boas praticas agronômicas, ou pode-se até dizer na adoção de um manejo integrado de plantas daninhas, onde se preconize a rotação de culturas, de mecanismos de ação, de tecnologias, uso de cobertura no inverno no sul do Brasil, dentre outros.

As novas tecnologias em especial a soja Enlist® e a Xtend® necessitam de cuidados importantes para o seu uso como uma ferramenta no controle de plantas daninhas. Alguns pontos importantes dizem respeito a tecnologia de aplicação e das condições ambientais, pois como serão usados herbicidas hormonais (2,4-D e dicamba) esses podem pelo processo conhecido como deriva (arraste das moléculas do herbicida para regiões ou culturas não alvo) ocasionar vários problemas de ordem ambiental, como a contaminação de locais não alvo, como de ordem econômica, como a intoxicação de culturas sensíveis, que em casos extremos podem levar essas plantas a morte.

Um dos pontos chaves para o uso dessas novas tecnologias é a tecnologia de aplicação e condições ambientais adequadas no momento da aplicação. Com relação a tecnologia de aplicação, é necessário a utilização de pulverizadores bem regulados, equipados com pontas de aplicação que reduzam o processo de deriva, como as pontas com tecnologia de indução de ar, que pode diminuir em mais de 60% a deriva do 2,4-D, produto esse recomendado para a tecnologia Enlist® (KALSING et al., 2018).

Pela complexidade e diversidade de eventos inseridos em cada uma das tecnologias, será necessária adquirir o conhecimento das mesmas, com uma efetiva capacitação dos produtores para utilizá-las, mas acima de tudo para que ele possa tirar o máximo de proveito do uso das mesmas. A grande vantagem que o agricultor passa a ter refere-se ao maior número de opções de uso que estarão disponíveis, permitindo a adoção de práticas de rotação de eventos OGMs dentro da propriedade, o que poderá levar a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação.

Para que a rotação de eventos seja positiva o agricultor obrigatoriamente deverá realizar o planejamento detalhado e antecipado das culturas e cultivares que usará na área, mas dentro de uma visão de sistema, não mais em uma análise simplista de uma cultura única.

Estas novas tecnologias reforçam ainda mais a necessidade do uso das boas práticas de manejo da cultura e da aplicação dos herbicidas. Práticas como: aplicar o herbicida na dose correta e nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta daninha, além do uso de práticas agrícolas que favoreçam o estabelecimento e desenvolvimento da cultura será de extrema importância.

Pelas diferentes tolerâncias das culturas haverá a necessidade de se evoluir nos cuidados com as culturas sensíveis cultivadas próximas a essas tecnologias. A aplicação eficiente e cuidadosa dos herbicidas deverá ser reforçada, reduzindo os riscos de eventuais deslocamentos dos produtos para fora do alvo. Cuidados com a escolha da ponta de pulverização e volume de calda associada a uma boa tecnologia de aplicação serão fundamentais.

Conclusões e perspectivas

O desafio da sustentabilidade da agricultura requer balanço entre a produção quali-quantitativa satisfatória de produtos agrícolas, e a redução dos impactos ambientais e da demanda de recursos não-renováveis. O manejo de plantas daninhas é uma questão funda-

mental, porque os herbicidas são os agrotóxicos mais utilizados no mundo, e incluem algumas das substâncias contaminantes de águas superficiais e subterrâneas, além de solos, alimentos e o homem. Por isso, é necessário adotar estratégias corretas para o manejo de plantas daninhas, sendo, desse modo, necessário conhecer a habilidade das plantas daninhas em relação à cultura em competir por água, luz e nutrientes e demais fatores determinantes da produtividade de grãos da soja.

Medidas simples como a escolha da cultivar correta e a adoção de práticas de manejo tecnicamente embasadas, utilizando plantas de cobertura e rotação de culturas, são responsáveis por diminuir o uso de herbicidas e, consequentemente, contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Convém destacar ainda que ao longo do tempo surgiram e surgem novas tecnologias, primeiro foi a soja resistente somente ao herbicida glyphosate e mais recentemente tem-se a soja resistente, além do glyphosate, ao 2,4-D, ao amonio-glufosinate, ao dicamba, dentre outros. No entanto todas essas tecnologias se não forem manejadas de modo correto, com boas práticas agronômicas e rotacionando os sistemas de cultivos e as próprias tecnologias de manejo de plantas daninhas, pode-se resultar, novamente em problemas graves para o controle de plantas daninhas na cultura da soja.

Referências

- AGOSTINETO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas/RS: UFPel, 2014. 398p.
- ALONSO, D.G.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; SANTOS, G.; DAN, H.A.; OLIVEIRA NETO, A.M. Seletividade de glyphosate isolado ou em misturas para soja RR em aplicações sequenciais. **Planta Daninha**, v.31, p.203-212, 2013.
- ARREGUI, M.C.; SCOTTA, R.; SÁNCHEZ, D. Improved weed control with broadleaved herbicides in glyphosate-tolerant soybean (*Glycine max*). **Crop Protection**, v.25, p.653-656, 2006.

- BHOWMIKA, P.C.; INDERJIT. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. **Crop Protection**, v.22, p.661-671, 2003.
- BLANCO, F.M.G. Classificação e mecanismo de sobrevivência das plantas daninhas. In: MONQUERO, P.A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos, SP: Editora Rima, 2014. Cap.2, p.33-60.
- CHARUDATTAN, R.; DINOOR, A. Biological control of weeds using plant pathogens: accomplishments and limitations. **Crop Protection**, Madison, v.19, p.691-695, 2000.
- CHAUHAN, B.S.; SINGH, R.G.; MAHAJAN, G. Ecology and management of
- CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C.; KLINK, U.P. Influence of type and amount of crop residues on weed emergence. **Planta Daninha**, v.24, p.245-253, 2006.
- ELLIS, J.M.; GRIFFIN, J.L. Benefits of soil-applied herbicides in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v.16, p.541-547, 2002.
- FERNANDES, A.F.; COUTO, A.M.; BARRETO, R.W. Isolado 168-B, um potencial bioherbicida para controle da buva (*Conyza canadensis*)? In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29, 2014, Gramado/RS. **Anais...** Londrina: SBCPD, 2014. CD-ROM.
- FERREIRA, E.A.; GALON, L.; SILVA, A.A.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.F.; OLIVEIRA, J.A.; VARGAS, L. Glyphosate translocation in hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) biotypes. **Planta Daninha**, v.26, p.637-643, 2008.
- FERREIRA, E.A.; GERMANI, C.; VARGAS, L.; SILVA, A.A.; GALON, L. Resistência de *Lolium multiflorum* ao glyphosate. In: AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas no Brasil**. Passo Fundo: Gráfica Berthier, 2009. Cap.15, p.271-289.
- FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Interferência de picão-preto e guaxuma com soja: efeitos da densidade de plantas

- e época relativa de emergência. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p 41-48. 2004.
- FORTE, C.T.; BASSO, F.J.M.; GALON, L.; AGAZZI, L.R.; NONEMACHER, F.; CONCENÇO, G. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. **Agrária**, v.12, n.2, p.185-193, 2017.
- FORTE, C.T.; GALON, L.; BEUTLER, A.N.; BASSO, F.J.M.; NONEMACHER, F.; REICHERT Jr. F.W.; PERIN, G.F.; TIRONI, S.P. Soil management systems and their effect on the weed seed bank. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n.4, p. 435-442, 2018a.
- FORTE, C.T.; GALON, L.; BEUTLER, A.N.; REICHERT Jr., F.W.; MENEGAT, A.D.; PERIN, G.F.; TIRONI, S.P. Cultivation systems, vegetable soil Covers and their Influence on the phytosocology of weeds. **Planta Daninha**, v. 36, n.1, p. 1-15, 2018b.
- GALON, L.; FERRERIRA, E.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A.A.; VARGAS, L. Tolerância de plantas daninhas a herbicidas. In: AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. (Editores). **Resistencia de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas: UFPel, 2014. p.33-43, CAP. 2.
- GALON, L.; MOSSI, A.J.; REICHERT Jr. F.W.; REIK, G.G.; TREICHEL, H.; FORTE, C.T. Biological weed management – A short review. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.116-125, 2016.
- GALON, L.; ROSSETTO, E.R.O.; FRANSCESCETTI, M.B.; BAGNARA, M.A.M.; BIANCHESSI, F.; MENEGAT, A.D.; BRUNETTO, L.; SILVA, A.M.L.; GALLINA, A.; BASSO, F.J.M.; WINTER, F.L.; PERIN, G.F.; FORTE, C.T. Interference and economic threshold level of Alexander grass in soybean as a function of cultivars and weed populations. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n.1, p. 73-81, 2019.
- GAZZIERO, D.L.P.; PRETE, C.E.C.; SUMIYA, M. Manejo de *Bidens subalternan* aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. **Planta Daninha**, v.21, p.283-291, 2003.

- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Acessado em 11 jul. 2022. O line. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>.
- KALSING, A.; ROSSI, C.V.S. LUCIO, F.R.; ZOBIOLE, L.H.S.; CUNHA, L.C.V.; MINOZZI, G.B. Effect of formulations and spray nozzles on 2,4-D spray drift under field conditions. **Weed Technology**, v.32, p.4, p.379-384, 2018.
- KELLEY, K.W.; LONG JR., J.H.; TODD, T.C. Long-term crop rotations affect soybean yield, seed weight, and soil chemical properties. **Field Crops Research**, v.83, n.1, p.41-50, 2003.
- LAMEGO, F.P.; VIDAL, R.A. Resistência ao glyphosate em biótipos de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Planta Daninha**, v.26, p.467-471, 2008.
- LOCKE, M.A.; REDDY, K.N.; ZABLOTOWICZ, R.M. Weed management in conservation crop production systems. **Weed Biology and Management**, v.2, p.123-132, 2002.
- MOREIRA, M.S.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; CRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida ghyphosate. **Planta Daninha**, v.25, p.157-164, 2007.
- NONEMACHER, F.; GALON, L.; SANTIN, C.O.; FORTE, C.T.; FIABANE, R.C.; WINTER, F.L.; AGAZZI, L.R.; BASSO, F.J.M.; PERIN, R.R.K. Herbicide association applied to control weeds in glyphosate-resistant soybean. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.2, p.152-162, 2017.
- NORSWORTHY, J.K. Broadleaved weed control in wide-row soybean (*Glycine max*) using conventional and glyphosate herbicide programmes. **Crop Protection**, v.23, p.1229-1235, 2004.
- OLIVEIRA, JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; COSTA, J.M.; CAVALIERI, S.D.; ARANTES, J.G.Z.; ALONSO, D.G.; ROSO, A.C.; BIFFE, D.F. Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-mergência afetando o desenvolvimento e a produ-

- vidade da soja. **Planta Daninha**, v.24, p.721-732, 2006.
- PROCÓPIO, S.O.; PIRES, F.R.; MENEZES, C.C.E.; BARROSO, A.L.L.; MORAES, R.V.; SILVA, M.V.V.; QUEIROZ, R.G.; CARMO, M.L. Efeitos de dessecantes no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **Planta Daninha**, v.24, p.193-197, 2006.
- RAMIRES, A.C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; GUERRA, N.; ALONSO, D.G.; BIFFE, D.F. Controle de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* com a utilização de glyphosate isolado ou em associação com latifolicidas. **Planta Daninha**, v.28, p.621-629, 2010.
- REDDY, K.N. Weed control in soybean (*Glycine max*) with cloransulam and diclosulam. **Weed Technology**, v.14, p.293-297, 2000.
- REZENDES, I.; BASEGGIO, E.R.; GALON, L.; BRANDLER, D.; FORTE, C.T.; ASPIAZÚ, I.; FRANCESCHETTI, M.B.; SILVA, A.F. Allelopathy of weeds on the growth of vegetables. **Communications in Plant Sciences**, v.10, p.8-17, 2020.
- RIZZARDI, M.A.; FLECK, N.G.; MUNDSTOCK, N.G.; BIANCHI, M.A. Perdas de rendimento de grãos de soja causadas pela interferência de picão-preto e guanxuma. **Ciência Rural**, v.33, n.4, p.621-627. 2003.
- RIZZARDI, M.A.; SILVA, L. Manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas na cultura da soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.32, n.4. p.683-697. 2014.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2018. 764 p.
- SANTIN, C.O. GIACOMIN, E.; GALON, L.; MENEGAT, A. D.; ROSSETTO, E. R.O.; FRANCESCHETTI, M.B.; BAGNARA, M. A. M.; SILVA, A. M. L.; TONIN, R. J.; BRUNETTO, L.; FORTE, C.T. Association of herbicides for management of weed plants in pre-emergence of soybean culture. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n.4, p. 217-224, 2019.
- SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, J.B. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A.A.;

- SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007a. Cap.1, p.18-61.
- SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, J.B. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007c. Cap.2, p.64-82.
- THEISEN, G.; VIDAL, R.A. Efeito da cobertura do solo com resíduos de aveia preta nas etapas do ciclo de vida do capim-marmelada. **Planta Daninha**, v.17, p.189-196, 1999.
- TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Potential of sorghum and pearl millet cover crops in weed suppression in the field: II – Mulching effect. **Planta Daninha**, v.22, n.1, p.1-10, 2004.
- VARGAS, L.; BIANCHI, M.A.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D. DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região Sul do Brasil. **Planta Daninha**, v.25, p.573-578, 2007.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 23p. Embrapa Trigo. Documento Online, 62). Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/>>
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; RIZZARDI, M.A.; SILVA, V.C. Alteração das características biológicas dos biótipos de azévem (*Lolium multiflorum*) ocasionada pela resistência ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.23, p.153-160, 2005.



MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM SOJA CULTIVADA EM TERRAS BAIXAS DO RIO GRANDE DO SUL

Dirceu Agostinetto¹, André da Rosa Ulguim², Renan Ricardo Zandoná¹, Leandro Vargas³ e André Andres⁴

¹ Universidade Federal de Pelotas. agostinetto.d@gmail.com, renan_zandona@hotmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria. andre.ulguim@ufsm.br

³ Embrapa Trigo. leandro.vargas@embrapa.br

⁴ Embrapa Clima Temperado. leandro.vargas@embrapa.br

Soja em terras baixas

Os solos de terras baixas no Sul do Brasil, são predominantemente cultivados com arroz irrigado ou perenizados com pastagens nativas. Entretanto, estes solos também possuem aptidão agrícola para o cultivo de culturas de sequeiro como soja, milho e sorgo, desde que, implementadas práticas agrícolas necessárias, que envolvem questões de física e química do solo, para obtenção de adequados índices de produtividades com estas culturas.

A rotação de culturas em áreas cultivadas intensivamente com arroz irrigado, é considerada importante alternativa para a melhoria do sistema produtivo de terras baixas. Recentemente, verificou-se rápido incremento na área de soja em terras baixas, sendo que este aumento ocorreu a partir do ano de 2010, estabilizando ao redor de 320 mil ha semeados (IRGA, 2020). A expansão foi influenciada pela necessidade de reduzir a infestação de plantas daninhas, especialmente arroz-daninho e capim-arroz, resistentes principalmente a herbicidas inibidores da ALS (acetolactato sintase) e elevação do preço pago pelo produto. Importante citar que mais de 1 milhão de ha são cultivados com soja na metade sul do Rio Grande do Sul, em áreas chamadas de “terras altas”, não cultivadas com arroz irrigado.

O manejo da cultura da soja em terras baixas necessita de ajustes que diferem do manejo em terras altas. O principal deles é a necessidade de aprimorar tanto a macro como a micro drenagem, uma vez que é característica destes solos a má infiltração de água. Ou-

tro ponto decisivo está relacionado ao manejo de plantas daninhas, uma vez que as espécies ocorrentes, ao menos nos primeiros anos de rotação, são diferentes das normalmente observadas em lavouras de soja, além do fato de essa ser uma prática que visa redução da infestação para cultivo de arroz irrigado.

Manejo de plantas daninhas em terras baixas

As plantas daninhas são espécies que se desenvolvem onde não são desejadas e causam danos econômicos, sendo um dos principais fatores relacionados à redução da produtividade da soja. Os prejuízos são, principalmente, reflexo da competição por recursos (luz, água, nutrientes e espaço). As plantas daninhas que ocorrem na cultura da soja afetam negativamente a formação dos trifólios, acúmulo de massa seca, número de vagens, número de grãos por vagem e peso de grãos reduzindo em até 94%, se não for adotado nenhum controle (ZANDONÁ et al., 2018).

O período crítico de competição das plantas daninhas na cultura da soja (quando a cultura deve estar livre da presença de plantas daninhas na área) varia com a época de semeadura, espécie e população da planta daninha presente e cultivar. Para épocas de semeadura antecipada, intermediária e tardia no Rio Grande do Sul (RS) ocorre dos 14 aos 35, 15 aos 26 e 05 aos 48 dias após a emergência da cultura, respectivamente (ZANDONÁ et al., 2018). As diferenças são decorrentes do estágio de desenvolvimento da cultura, sendo recomendado que a cultura da soja cresça sem a presença de plantas daninhas entre os estádios V2 e R2.

As principais plantas daninhas encontradas em terras baixas são infestantes do arroz irrigado ou espécies que apresentam características como elevada produção de sementes ou modificações morfológicas que permitem maior disseminação (Figura 1). A ocorrência e o nível de infestação dessas espécies são dependentes da região de cultivo, histórico da área e, principalmente, manejo de plantas daninhas.

A diversidade e a ocorrência de espécies daninhas presentes nas terras baixas diferem daquela observada nas regiões tradicionalmente produtoras de soja.

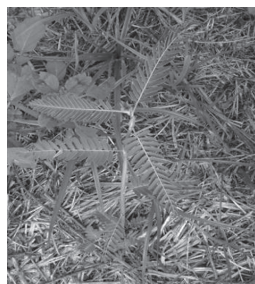
Em terras baixas, o sistema de preparo convencional de arroz irrigado com aração, gradagens, nivelamento do solo e montagem das taipas, distribui as sementes das plantas daninhas no perfil do solo, aumentando a sua persistência. Além disso, muitas áreas permanecem em pousio ou são cultivadas sobre a resteva sem manejo na entressafra, favorecendo o desenvolvimento de plantas escapes e a perpetuação das espécies daninhas. Esse manejo tem favorecido a incidência de plantas daninhas, assim como a seleção e dispersão de espécies resistentes a herbicidas.



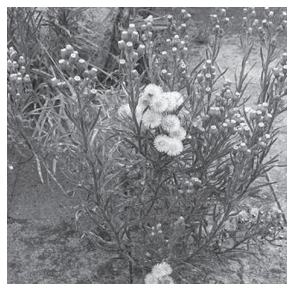
Oryza sativa (arroz-daninho)



Echinochloa sp. (capim-arroz)



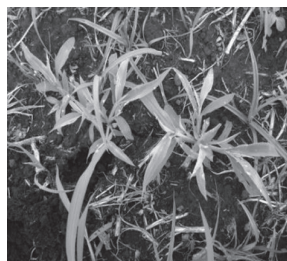
Aeschynomene sp. (angiquinho)



Conyza bonariensis (buva)



Cyperus esculentus (tiririca-amarela)



Digitaria ciliata (milhã)

Figura 1. Principais espécies de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de terras baixas. Fotos: Dirceu Agostinetto.

Para auxiliar na tomada de decisão sobre o controle de plantas daninhas na cultura da soja, alguns modelos de fluxo de emergência baseado em informações climáticas foram desenvolvidos. Assim, o momento ideal para o controle de plantas daninhas, em área de terras altas, ocorre aproximadamente aos 20, 16 e 12 dias após a semeadura em épocas antecipadas, intermediárias e tardias, respectivamente (ZANDONÁ, 2019). Esses períodos são condizentes aos relacionados ao início do período crítico de interferência citado anteriormente (SILVA et al., 2009; ZANDONÁ et al., 2018), podendo ser utilizados como tomada de decisão para medidas de controle de plantas daninhas em pós-emergência.

O controle das plantas daninhas consiste em suprimir o crescimento e/ou reduzir o número de indivíduos por área até níveis abaixo dos que causam danos econômicos às culturas. Os principais métodos de controle para a cultura da soja em terras baixas estão descritos a seguir.

a. Controle preventivo

O controle preventivo baseia-se na prevenção da introdução, multiplicação de propágulos e disseminação de plantas daninhas na área, constituindo-se prática importante especialmente para espécies resistentes a herbicidas. Recomenda-se o uso de sementes certificadas, quarentena de animais por seis a sete dias para bovinos oriundos de áreas infestadas com arroz-daninho e capim-arroz, respectivamente (VIERO et al., 2018), limpar os equipamentos após trabalho em áreas com plantas daninhas indesejáveis e controlar essas espécies em canais e drenos de irrigação, margens da lavoura e estradas.

b. Controle cultural

Essa prática usa principalmente as características da cultura para inibir o desenvolvimento de plantas daninhas. Assim, os fatores que podem proporcionar vantagem para a cultura são: a escolha correta da variedade

de soja para as condições de solo e clima da região, com preferência àquelas tolerantes ao excesso hídrico; adubação correta; cobertura de solo; adequação da população, da profundidade de semeadura, do espaçamento entrelinhas e da época de semeadura; dentre outras. A adoção dessas práticas em alguns casos pode reduzir a necessidade do uso de outros métodos de controle.

c. Controle mecânico

Nesse método, utilizam-se implementos manuais ou tratorizados para eliminar as plantas daninhas, por efeito ou mecânico. Em áreas de terras baixas esse método pode ser usado com frequência devido as necessidades de preparo do solo em função do cultivo sobre a resteva de arroz irrigado, compactação do solo e montagem de camalhões para irrigação ou drenagem da soja. Sabe-se que esse método é eficaz para o controle de algumas espécies daninhas, porém para outras, necessita-se a adoção associada com outros métodos de controle.

d. Controle químico

O controle químico atualmente é a alternativa mais adotada. Novas tecnologias (culturas resistentes a herbicidas), novas moléculas e novas técnicas de aplicação, proporcionam aumento das opções em termos de controle por parte dos agricultores. O uso de herbicidas antes da semeadura da soja (dessecação) e em pré ou pós-emergência das plantas daninhas é fundamental para o manejo em terras baixas, principalmente em locais em que ocorrem altas infestações e o tempo disponível para controle é reduzido.

O manejo químico da vegetação antes da semeadura da soja (dessecação) é essencial para garantir a emergência da cultura livre da presença de plantas daninhas. Ainda, a presença de espécies resistentes, como buva, ou perenes com propagação vegetativa, como *Digitaria insularis* (capim-amargoso), *Cyperus rotundus* ou *C. esculentus* (tiritica), *Leersia hexandra* ou *Luziola*

peruviana (grama-boiadeira) e/ou *Paspalum modestum* (grama lombo-branco), devem ser controladas antes da semeadura da cultura, pois em pós-emergência poucos herbicidas possuem controle eficaz. Indica-se, por conseguinte, a aplicação de herbicidas sistêmicos e, se possível, com ação residual no solo.

As aplicações pré-emergentes de herbicidas podem ser realizadas juntamente ou logo após a semeadura. Os herbicidas usados em pré-emergência oferecem a vantagem do controle de plantas daninhas antes que estas possam competir com a cultura e provocar redução da produtividade de grãos. Além disso, os herbicidas pré-emergentes auxiliam na melhor eficácia dos herbicidas pós-emergentes, devido à redução da infestação inicial e do atraso no estágio de desenvolvimento das plantas daninhas no momento da aplicação. Entretanto, o desempenho dos herbicidas usados em pré-emergência depende de muitos fatores, tais como: umidade do solo no momento da aplicação; chuva após a aplicação, para sua ativação; temperatura e tipo de solo; e, espécies daninhas. Herbicidas como s-metolacoloro, metribuzim e sulfentrazona, ou associações formuladas, tem apresentado resultados consistentes no controle de diversas espécies daninhas ocorrentes na lavoura de soja cultivadas em terra baixas.

Os herbicidas pós-emergentes devem ser aplicados quando as espécies daninhas de folhas largas estiverem com no máximo seis folhas e as de folha estreita ainda não tiverem aphilhado. Considera-se este momento como o adequado para obtenção do máximo controle, para a maioria dos herbicidas registrados para esta modalidade de aplicação. Após estes estádios de desenvolvimento, considera-se que a eficiência será menor, não evitando à competição e a redução na produtividade de grãos da cultura.

Quando a época de semeadura for antecipada, o controle químico pode ser realizado com a aplicação de herbicida em pós-emergência com efeito residual, em

função do fluxo de emergência de plantas daninhas ser mais lento nessa época. Por outro lado, em épocas intermediárias e tardias, é necessária realizar dessecação, associada com herbicida pré-emergente para garantir efeito residual e o estabelecimento inicial da cultura livre da presença de plantas daninhas, que tem fluxo de emergência maior nesses períodos de semeadura.

Em condições de terras baixas, há a predominância de plantas daninhas da família Poaceae e com elevado banco de sementes, justificando a adoção de herbicidas pré-emergentes. Em condições ótimas para ação desses herbicidas e em determinadas situações, observa-se redução de ao menos uma aplicação de glifosato em pós-emergência, reduzindo assim a pressão de seleção de resistência ao herbicida. Os herbicidas registrados para controle das principais plantas daninhas na cultura da soja em terras baixas constam na Tabela 1.

Reforça-se ainda que o cultivo da soja em terras baixas tem como justificativa o manejo e redução do banco de sementes de espécies daninhas de difícil controle ou resistentes a herbicidas em arroz irrigado. Assim, os produtores devem estar atentos à ocorrência de reinfestação de plantas daninhas em determinadas áreas da lavoura. Nessas situações, recomenda-se utilizar alguma estratégia de controle, mesmo que localizadas, a fim de evitar que essas plantas finalizem o ciclo e produzam sementes que irão alimentar o banco de sementes no solo. Dentre as estratégias, pode-se citar o controle mecânico (capina), físico (arranquio) ou químico seja pela aplicação em jato dirigido, uso de barra química ou mesmo com luva para aplicação.

Tabela 1. Principais herbicidas registrados para controle das principais plantas daninhas de terras baixas ocorrentes na cultura da soja¹.

Principais plantas daninhas	2,4-D	Bentazona	Carfentrazona	Clethodim	Clomazona	Cloransulam	Clorimuron	Diquate	Diclosulam	Flumioxazina	Fomesafem	Glifosato	Glufosinato	Imazaquim	Imazetapir	Metribuzim	Pendimetalina	Salfufenacil	Setoxidim	S-Metolaclo	Sulfentrazona
<i>Aeschynomene</i> sp. (angiquinho)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
<i>Amaranthus</i> sp. (caruru)	R	R	NR	NR	R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	NR	R	R
<i>Bidens</i> sp. (picão)	R	R	NR	NR	R	R	R	NR	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	NR	R	R
<i>Coryza</i> sp. (buva)	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR
<i>Cyperus</i> sp. (tiriticas)	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR
<i>Digitaria</i> sp. (milhã)	R	NR	NR	R	R	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	NR	R	R
<i>Digitaria inaequalis</i> (capim-amargoso)	NR	NR	NR	R	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR
<i>Echinochloa</i> sp. (capim-atroz)	NR	NR	NR	R	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	NR	NR	R	NR	R	R	NR	R	R
<i>Euphorbia heterophylla</i> (leiteiro)	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	NR	NR	R
<i>Ipomoea</i> sp. (cortida)	R	R	R	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	NR	NR	R
<i>Lolium multiflorum</i> (sacvin)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	R	R	R	NR	NR	R
<i>Oryza sativa</i> (arroz-daninho)	NR	NR	NR	R	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	NR	NR
<i>Lepochloa plumiginea</i> (papa)	R	NR	R	R	R	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	R	NR	R	R	R	R	NR	NR	R

¹ Para definição de modo e época de aplicação e dosagem consultar um Engenheiro Agrônomo. R=registrado; NR= não registrado.

Fonte: Adaptado de AGROFIT 2020.

Atenções especiais no manejo em terras baixas

a. Manejo cultural em terras baixas

Os produtores de arroz que adotam a rotação de culturas, com a soja em terras baixas, primeiro realizam a semeadura do arroz irrigado [(entre setembro e novembro (SOSBAI, 2018))] e após realizam a implantação da soja. Em terras baixas, na metade Sul do RS, são recorrentes períodos de déficit hídrico em novembro/dezembro, os quais afetam a eficiência de herbicidas com ação de solo e dificultam o estabelecimento da cultura, atrasando o fechamento da entrelinha; porém, neste período a emergência de plantas daninhas é mais rápida, reduzindo o intervalo para controle.

Outro fator importante que afeta o manejo de plantas daninhas nas áreas de terras baixas, é a dificuldade em manter as lavouras drenadas durante a entressafra. A permanência da lâmina de água permite o estabelecimento de plantas daninhas, aquáticas, perenes e podem dificultar a degradação de herbicidas utilizados na cultura do arroz (BAUGHMAN & SHAW, 1996).

As plantas daninhas perenes com propagação vegetativa, como tiriricas, gramas-boiadeira e/ou grama lombo-branco, normalmente são difíceis de controlar quando comparadas com espécies anuais. Para controle dessas espécies, muitas vezes é necessário associar aplicações sequenciais de herbicidas e/ou associar o preparo convencional do solo com o método químico.

Durante o cultivo da soja em terras baixas, também ocorrem períodos de excesso e déficit hídrico. O excesso hídrico pode provocar escoamento superficial das moléculas herbicidas e/ou movimentos para cima e para baixo no perfil do solo (lixiviação), reduzindo o efeito residual de herbicidas. Por outro lado, períodos de déficit hídrico, como citado acima, podem acentuar a adsorção dos herbicidas aos colóides de solo, impedindo a absorção pelas plantas. Em ambas situações, o controle final de plantas daninhas é impactado negativamente, pois a possível morte de plantas de soja, em áreas não ade-

quadas a drenagem superficial, provocadas por excesso hídrico, “abre” espaço na lavoura permitindo incremento de infestações nestes locais, implicando em perdas de produtividade da planta, rentabilidade da lavoura e realimentação do banco de sementes do solo.

b. Manejo e controle das espécies resistentes

Em áreas de terras baixas, as principais plantas daninhas resistentes à herbicidas são arroz-daninho, capim-arroz e tiriricas (junquinhos), com identificação de resistência aos herbicidas inibidores da enzima ALS, selecionadas pelo uso contínuo da tecnologia Clearfield® (CL) em anos sucessivos com o cultivo de arroz irrigado. Atualmente mais de 87% da área de arroz irrigado no RS utiliza a tecnologia CL (IRGA, 2020). Entretanto, com a introdução de soja no sistema de cultivo em terras baixas, outros casos de resistência precisam ser manejados, como capim-pé-de-galinha e capim-arroz com resistência ao glifosato (inibidor da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase - EPSPs); buva e caruru com resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ALS; e, azevém com resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ALS, EPSPs e ACCase (inibidores da enzima acetil coenzima-A carboxilase) ou ALS e ACCase (HEAP, 2020).

O uso continuado e repetido é considerado a principal causa para seleção de espécies resistentes a herbicidas. Porém, em terras baixas a maioria dos casos de resistência na cultura da soja, se estabeleceu pela falta de manejo preventivo. Os biótipos de azevém resistentes foram introduzidos e dispersos pelo comércio de sementes e trânsito de animais; buva, foi disseminada pela falta de limpeza de beiras de estradas e canais ou drenos de irrigação; e, para o caruru a introdução é, principalmente, atribuída ao uso de colheitadeiras de outras regiões do Brasil.

Em função destes casos de resistência, o manejo em áreas de terras baixas precisa ser organizado visan-

do prevenir a dispersão e a seleção de novas plantas daninhas resistentes à herbicidas. As principais práticas de manejo indicadas são:

- Evitar uso repetido de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação na mesma área. Em casos onde a seleção de espécies resistentes e/ou tolerantes ocorrer, deve ser implantado sistema de rotação de mecanismos de ação herbicida, eficazes sobre as espécies problema.

- Monitorar e destruir plantas suspeitas de resistência. Após a aplicação do herbicida, as plantas que sobreviverem devem ser eliminadas, para evitar que produzam sementes e se disseminem.

Para as áreas com biótipos de azevém e capim-amargoso resistentes ao glifosato, ou arroz-daninho e capim-arroz resistente a herbicidas inibidores da enzima ALS, o controle de forma geral, é obtido com uso dos herbicidas pré-emergentes (vários grupos) e na pós-emergência, os indicados são poacidas que atuam na ACCase. Destaca-se que o herbicida pré-emergente s-metolaclo-ro tem contribuído no manejo de arroz-daninho e capim-arroz resistentes a herbicidas inibidores da ALS (ZEMOLIN, 2014).

As recomendações de manejo de buva, são as mesmas para as demais plantas daninhas, principalmente as resistentes a herbicidas, ou seja, evitar que produzam sementes. A adoção de cobertura vegetal no inverno anterior ao cultivo da soja é estratégia importante para o controle de buva, pois estas contribuem para diminuir o espaço de entrada de luz ao solo e evitam o estímulo a germinação de sementes de buva (Figura 2). Entretanto, poucos produtores utilizam essas culturas durante o inverno, em função das dificuldades no seu estabelecimento e necessidade de investimentos econômicos. Frequentemente, o uso de azevém é observado pela adaptabilidade ao ambiente, sendo usado também para alimentação de animais no inverno. Cabe destacar ainda o incremento de casos de resistência de populações de azevém ao glifosato, o que exige adoção de outros produtos ou estratégias.

O controle dos biótipos de buva resistentes é mais eficiente quando realizado durante o inverno, pois as plantas são mais sensíveis aos herbicidas em estádios iniciais de desenvolvimento. Na dessecação, pré-semeadura da soja, geralmente as plantas de buva estão em estádios avançados de desenvolvimento e apresentam maior tolerância aos herbicidas. Nesse caso, o controle eficiente da buva tem sido obtido com 2,4-D [1,5 a 2,0 L ha⁻¹ de produto comercial (1005 a 1340 g e.a. ha⁻¹)], clorimurrom [40 g ha⁻¹ de produto comercial (10 g i.a. ha⁻¹)] ou saflufenacil [35 a 50 g ha⁻¹ de produto comercial (24,5 a 35 g i.a. ha⁻¹)] associados ao glifosato [3,0 L ha⁻¹ de produto comercial (1080 g e.a. ha⁻¹)]. Ainda, as aplicações sequenciais têm apresentado excelentes resultados, sendo o glifosato associado a herbicida com efeito residual e aplicado 10 a 15 dias antes da segunda aplicação, a qual pode ser realizada com amônio-glufo-sinato ou diquate.



Figura 2. Presença de plantas de buva em área em pousio no inverno (esquerda) ou com azevém (direita). Foto: André Andres.

Após a semeadura da soja, a opção dos herbicidas pré-emergentes, como o s-metolaclo-ro, sulfentrazo-ne, flumioxazin e diclosulam ou associações formuladas, são alternativas eficientes para manejo das plantas da-

ninhas nesta modalidade de aplicação. Esses herbicidas, quando utilizados na pré-emergência da soja (semear/aplicar e aplicar/semear), de forma geral, apresentam controle eficiente das espécies tolerantes e/ou resistentes ao glifosato provenientes do banco de sementes do solo. Destaca-se que atualmente existem associações formuladas contendo esses herbicidas, ampliando o espectro de controle da aplicação.

A identificação de caruru resistente ao glifosato e inibidores da ALS é recente e estudos estão em andamento nas instituições oficiais de pesquisa. Porém, os resultados preliminares evidenciam que a adoção de herbicidas mimetizadores de auxina, 20 dias antes da semeadura da cultura (dessecação) e herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) ou associações formuladas de PROTOX com outros ingredientes ativos em pré e pós-emergência são promissores no controle dessa espécie.

c. Persistência de herbicidas em solos de terras baixas

A utilização de herbicidas nos sistemas agrícolas não é isenta de riscos, pois resíduos desses produtos podem poluir agroecossistemas e muitas vezes causar interferências sobre plantas suscetíveis, utilizadas como culturas em sistema de sucessão/rotação à cultura tratada (carryover). O potencial de injúria às culturas sensíveis pode ser determinado pela persistência do herbicida no solo e pela suscetibilidade da cultura ao produto químico utilizado, associado às condições ambientais.

A persistência de herbicidas no solo pode ser indesejável quando resultar em injúrias para culturas em sucessão ou em aumento de riscos de contaminação ambiental. Foi verificado que produtividade dos cultivares de soja, seus componentes de produtividade e a qualidade fisiológica de sementes são afetados negativamente pelo aumento do resíduo da mistura dos herbicidas imazapyr e imazapic no solo (AGOSTINETTO et al., 2018) (Figura 3).

A persistência e efeitos desses herbicidas dependem da dose utilizada, do tipo de solo, da sensibilidade dos genótipos e das condições ambientais principalmente durante a entressafra. Assim, com o aumento da utilização da tecnologia CL, além de maiores estudos da dinâmica ambiental e do comportamento dos herbicidas recomendados para essa tecnologia, é importante que medidas de prevenção e manejo sejam adotadas de forma sustentável, precisa e economicamente viável.

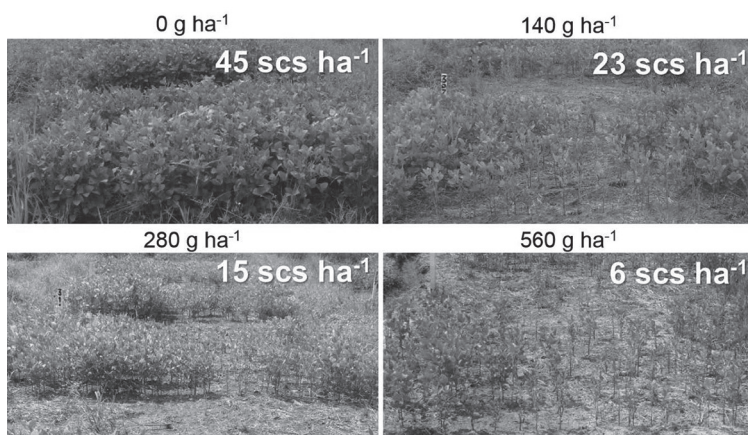


Figura 3. Fitotoxicidade e produtividade de grãos da cultivar de soja NA5909RR em função do resíduo de doses crescentes do herbicida imazapyr+imazapic (0, 140, 280 e 560 g ha⁻¹), avaliada aos 97 dias após a emergência (DAE), correspondente a 475 dias após a aplicação do herbicida. Fotos: Diego Fraga.

Recomenda-se a produtores e técnicos envolvidos com o cultivo do arroz irrigado em terras baixas que, antes de implementar um sistema de rotação de culturas, realizem minucioso planejamento da utilização desse sistema, avaliando sistemas de drenagem nas áreas e outras exigências de manejo imediatas e para culturas sucessivas e usadas em rotação.

Destaca-se que medidas como o uso de coberturas de solo durante o outono-inverno como azevém e trevo-branco podem auxiliar na redução do resíduo

de imidazolinonas no solo (ULGUIM et al., 2019). Entretanto, é necessário lembrar que essas espécies apresentarão efeitos fitotóxicos da presença do resíduo no solo (Figura 4). Para tanto, práticas como a drenagem da área durante o período hibernar são fundamentais para a oxigenação do solo e para garantir a atividade dos microrganismos que irão degradar esses produtos. A degradação das moléculas dos herbicidas imidazolinonas também pode ser favorecida pela elevação do pH para valores próximos a 6,0, o que pode ser obtido com a prática da calagem, que resulta na diminuição da sorção dessas moléculas ao solo e na maior biodisponibilidade na solução.

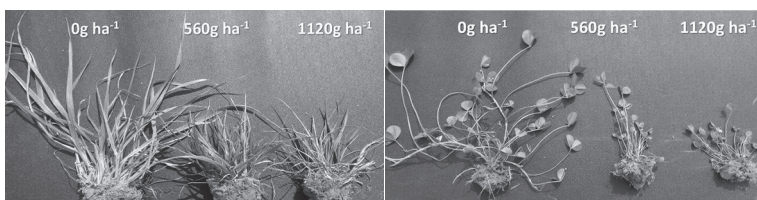


Figura 4. Danos ao desenvolvimento de azevém e trevo-branco em função do resíduo de doses do herbicida imazapyr+imazapic (0, 560 e 1120 g ha⁻¹). Fotos: André Ulguim.

Todavia, é importante ressaltar que mesmo com a adoção destas práticas de manejo, a eficiência destas depende do adequado uso do herbicida durante o ciclo da cultura do arroz, baseados nas atuais recomendações da pesquisa, principalmente quanto à dose (SOSBAI, 2018, ULGUIM et al., 2019). Resumindo, doses de determinados herbicidas, acima das recomendadas, utilizadas no período do cultivo do arroz irrigado, podem implicar em maiores resíduos no solo e podem comprometer o estabelecimento e desenvolvimento e sucesso da soja cultivada em terras baixas.

Considerações finais

Para reduzir o reabastecimento do banco de sementes do solo e futuras infestações das espécies predominantes no sistema de cultivo em terras baixas, é

necessário a utilização de diferentes estratégias de manejo da cultura. Disso, decorre que o manejo deve ser contínuo sobre a área ao longo de todo o ano, e não apenas durante o desenvolvimento da cultura da soja ou do arroz. Assim, cabe aos profissionais em agronomia orientar os produtores quanto aos métodos de controle mais adequados para privilegiar as potencialidades da cultura, de forma a aumentar as chances desta em superar as plantas daninhas na competição pelos recursos e consequente redução das perdas de produtividade.

Referências

- AGOSTINETTO, D.; FRAGA, D.S.; VARGAS, L.; OLIVEIRA, A.C.B.; ANDRES, A.; VILLELA, F.A. Response of soybean cultivars in rotation with irrigated rice crops cultivated in Clearfield® system. **Planta Daninha**, v.36, p.e018170991, 2018
- AGOSTINETTO, D.; FONTANA, L.C.; VARGAS, L.; PERBONI, L.T.; POLIDORO, E.; SILVA, B.M. Competition periods of crabgrass with rice and soybean crops. **Planta Daninha**, v.32, p. 31-38, 2014.
- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. [acessado em: 26 mar. 2020]. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- BAUGHMAN, T. A.; SHAW, D. R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v.44, p.380-382, 1996.
- HEAP, I. A Pesquisa Internacional de resistente a herbicidas Weeds. Disponível www.weedscience.org. Acesso em: 20 de fevereiro, 2020.
- Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA. Relatório anual de cultivares e sistemas de cultivo de arroz e soja em rotação do Estado do RS. Porto Alegre: Ed. IRGA, 2020. 27p.
- SILVA, A.F.; CONCENÇO, G.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, E.A.; GALON, L.; COELHO, A.T.C.P.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A. Interferência de plantas daninhas em diferentes densidades no crescimento da soja. **Planta Daninha**, v.27, p 75-84, 2009.

- Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado – SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. 2018. 205p.
- ULGUIM, A.R.; CARLOS, F.S.; ZANON, A.J.; OGOSHI, C.; BEXAIRA, K.P.; SILVA, P.R.F. Is increasing doses of imazapyr + imazapic detrimental to the main crop rotation alternatives to flooded rice? **Planta Daninha**, v.37, p.1-11, 2019.
- VIERO, J. L. C.; SCHAEGLER, C. E.; AZEVEDO, E. B. de; SANTOS, J. V. A. dos; SCALCON, R. de M.; DAVID, D. B. de; ROSA, F, Q, da. Dispersão endozoocórica de sementes de arroz daninho (*Oryza sativa* L.) e capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* L.) por bovinos. **Ciência Rural**, v.48, p.e20170650, 2018.
- ZANDONÁ, R.R. Modelagem do fluxo de emergência e caracterização da longevidade do banco de sementes de espécies de plantas daninhas na cultura da soja e manejo com herbicidas pré-emergentes. Tese (Doutorado em Fitossanidade) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. 2019.
- ZANDONÁ, R.R.; AGOSTINETTO, D.; SILVA, B.M.; RUCHEL, Q.; FRAGA, D.S. Interference periods in soybean crop as affected by emergence times of weeds. **Planta Daninha**, v.36, p.1-11, 2018.
- ZEMOLIN, C.R. S-metolachlor: Controle de arroz-vermelho e dissipação em terras baixas. 2014. 96f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.



5 – Fitopatologia

MANEJO INTEGRADO DE DOENÇAS DA SOJA

**Caroline Wesp Guterres¹; Carolina Deuner²; Caroline Gulart³;
Marcelo Gripa Madalosso⁴ e Ivan Francisco Dressler Da Costa⁵**

¹ Pesquisadora Fitopatologista na CCGL – Cooperativa Central Gaúcha Ltda., Rodovia RS 342 - Km 149, CEP 98005-970 - Cruz Alta - RS - Brasil. caroline.wesp@ccgl.com.br

² Professora e pesquisadora do Curso de Agronomia e Pós-graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Passo Fundo, Campus I, Bairro São José - BR 285 - KM 171, Caixa Postal 611, Passo Fundo, RS, Brasil. CEP 99052-900. carolinadeuner@upf.br

³ Pesquisadora Proteção de sementes e Microbiologia do Phytus Group - Estrada da Barragem do Ibicui, 3129, Itaara, RS. caroline.gulart@iphytus.com

⁴ Professor e Pesquisador da Universidade Regional Integrada - Campus Santiago e Santo Ângelo. madalossoimg@gmail.com

⁵ Ivan Francisco Dressler da Costa. Professor Associado em Fitopatologia, do Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria. ifdressler@gmail.com

Principais doenças da soja e estratégias de controle

Muitos patógenos incidem na cultura da soja, e a cada safra, os agricultores deparam-se com desafios a serem vencidos com relação ao manejo fitossanitário de doenças. Os agentes causais são os mais diversos e envolvem fungos, bactérias, vírus e até nematoides. No Brasil, já foram identificadas mais de 40 doenças em soja. Entre os fatores que contribuem para redução da produtividade e para o aumento dos custos da produção, as doenças são, certamente, umas das principais causas. As perdas de produção anuais são em média, de 20%. Porém, estas são variáveis de acordo com o tipo de doença, com as condições climáticas de cada região, com as medidas de controle adotadas e em função dos cultivares utilizados.

Nesse contexto, nas últimas safras no Rio Grande do Sul, destacam-se principalmente, problemas relacionados à ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow & Sidow) e o aumento na ocorrência de doenças de final de ciclo, tais como antracnose (*Colletotrichum*

truncatum (Schwein.), mancha púrpura, crestamento de cercospora (*Cercospora kikuchii* (T. Matsumoto e Tomoy.) e septoriose *Septoria glycines* (Tak. Matsumoto & Tomoy).

Outras doenças que merecem destaque são os tombamentos, causados por diversos fungos de solo (*Rhizoctonia*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Colletotrichum* e *Fusarium*) e que, em anos de alta umidade associada à semeadura, vêm causando problemas de emergência e impactos na produtividade.

Ferrugem asiática - *Phakopsora pachyrhizi*

A ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) constitui-se na principal doença foliar da cultura no Brasil (Figura 1). Essa doença mostrou-se muito agressiva nas últimas safras no Sul do Brasil, sendo favorecida pelo clima chuvoso e pela boa distribuição pluviométrica. Isso favoreceu a chegada mais cedo da ferrugem na safra 2018/19, resultando em epidemia no estado, o que demandou atenção especial para o controle da doença por parte dos produtores. Na safra 2019/20, houve baixa pressão de doenças, especialmente de ferrugem (Figura 2), sendo que o oídio e as manchas predominaram em função da estiagem que ocorreu no Rio Grande do Sul.

Alguns fatores contribuíram para a alta intensidade da doença nas últimas safras, com destaque para: i) boa precipitação durante o inverno no centro-oeste, ii) correntes de vento que trouxeram o inóculo de outras regiões, iii) inverno ameno no Sul do Brasil (ocorrência de soja guaxa no campo), iv) baixa ocorrência do oídio (competidor da *P. pachyrhizi* por sítios de infecção) e v) boa precipitação durante o ciclo da cultura da soja, sem veranicos importantes na região Sul (dificuldade de fazer aplicação de fungicida preventivamente). A associação desses fatores culminou na dificuldade de controle, principalmente em algumas regiões do Rio Grande do Sul e Paraná.

O controle de doenças de plantas mais eficiente, duradouro e econômico é obtido pelo somatório de me-

didadas de controle disponíveis, e nunca de uma prática isolada. Torna-se importante para o estabelecimento de medidas racionais de controle, conhecimento do clima (El ninõ, La ninã e neutro), do hospedeiro (hábito de crescimento e índice de área foliar) e do patógeno (estratégias de manejo como resistência genética e controle químico), ou seja, o conhecimento do triângulo das doenças. O controle efetivo da ferrugem asiática deve estar baseado no controle cultural, genético e químico.

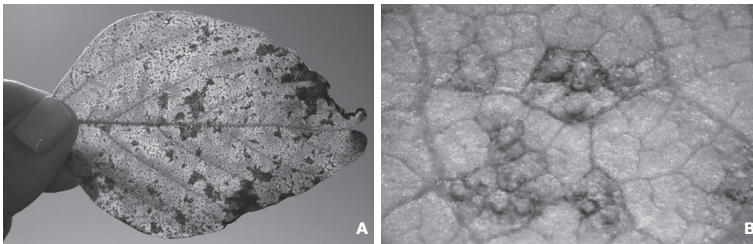


Figura 1. A) sintoma da ferrugem-asiática, B) urédias da ferrugem-asiática (C.C. DEUNER)

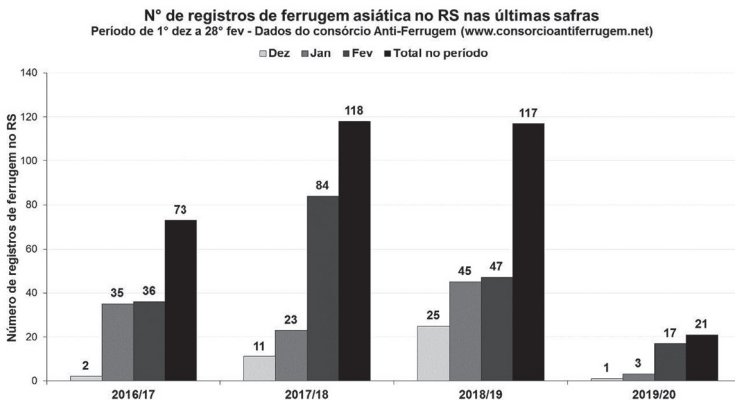


Figura 2. Número de registros de ferrugem asiática no Rio Grande do Sul. Dados das últimas safras. Adaptado de Wesp-Guterres, 2019.

Referente ao controle cultural, por se tratar de um fungo biotrófico, as estratégias incluem remoção de plantas voluntárias de soja (Figura 3) e/ou hospedeiros secundários, como kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata*)

Willd.) (Figura 4) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (Figura 5), ausência do cultivo de soja na entressafra agrícola (vazio sanitário) e a calendarização da semeadura da soja.



Figura 3. (A) Plantas voluntárias de soja em área de pastagem de aveia preta; (B) soja em emergência na beira da rodovia (MADALOSSO, M.G.).



Figura 4. Kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata* Willd.) (MADALOSSO, M.G.).



Figura 5. Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (MADALOSSO, M.G.).

O vazio sanitário é o período de no mínimo 60 dias sem a cultura e plantas voluntárias no campo. No Brasil, treze estados e o Distrito Federal adotaram essa medida, visando reduzir a sobrevivência do fungo durante a entressafra e assim atrasar a ocorrência da doença na safra. Já a calendarização da semeadura da soja é a determinação de data-limite para semear a soja na safra, sendo essa medida adotada por sete estados produtores de soja, até o momento: Goiás, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina, Tocantins, Bahia e Mato Grosso do Sul. Essa estratégia visa reduzir o número de aplicações de fungicidas ao longo da safra e com isso reduzir a pressão de seleção de resistência do fungo aos fungicidas (EMBRAPA SOJA, 2018).

Com relação ao controle genético, já foram descritos cinco genes de resistência á *P. pachyrhizi*, *Rpp1*, *Rpp2*; *Rpp3*, *Rpp4* e *Rpp5*, sendo que o gene *Rpp1* confere resposta imune da soja ao patógeno, os genes *Rpp2*

e *Rpp5* limitam o crescimento e a esporulação do fungo por meio de reação de hipersensibilidade (*reddish-brown*) (BONDE et al., 2006). Apesar da existência de fontes de resistência, já existem relatos de variabilidade genética desse fungo em soja, sendo relatadas 9 raças fisiológicas de *P. pachyrhizi* (TSCHURTSCHENTHALER et al., 2012). Portanto, a utilização de cultivares de soja com genes únicos de resistência vertical pode levar à rápida seleção de biótipos que quebrem a resistência dessas cultivares, não sendo adequado utilizá-las isoladamente e sim, em associação a outra estratégia, como por exemplo, o controle químico. Na Universidade de Passo Fundo (UPF) já foram avaliados cultivares com resistência e verificou-se que, quando se utiliza a resistência genética associada ao controle químico é possível atrasar a doença no tempo, reduzir a taxa de progresso da doença e utilizar intervalos de até 21 dias, o que não seria possível com uma cultivar suscetível.

No Brasil, o controle químico da ferrugem-asiática teve início em 2003, utilizando fungicidas do grupo químico triazol (IDM) e estrobilurina (IQe), isolados ou em misturas (REIS et al., 2016). Atualmente, são 71 fungicidas registrados para o controle dessa doença, que combinam diferentes grupos químicos como IDM, IQe, carboxamida (ISDH), ditiocarbamato (MULT) e morfolina (AGROFIT, 2018). O controle químico sem dúvida é a estratégia mais utilizada pelos produtores, e por isso, existe uma grande preocupação com a redução de sensibilidade de fungo a fungicidas.

Ao mencionar o controle químico de doenças, inevitavelmente é necessário falar de resistência de fungos a fungicidas. Este é um assunto atual e que assusta tantos produtores, quanto pesquisadores, devido ao número reduzido de grupos químicos disponíveis para controle da ferrugem-asiática. A resistência é definida como uma alteração genética estável e herdável, que resulta na redução da sensibilidade do patógeno à molécula fungicida. O desenvolvimento da resistência de fungos aos fungicidas se dá a partir da alteração do sítio-alvo (mu-

tação no gene que o codifica), da redução da absorção ou aumento do efluxo do fungicida (xenofobia), da falta de conversão para o composto ativo, da supressão da enzima-alvo e do desenvolvimento de vias metabólicas alternativas que não incluem o sítio-alvo do fungicida (respiração alternativa) (LEROUX; WALKER, 2011). Já existem comprovação de redução de sensibilidade para o grupo químico IDM, IQE e ISDH (GODOY et al., 2017), sendo que esse fato se deve em grande parte pelo uso de fungicidas com o mesmo mecanismo de ação, com alta pressão da doença (aplicações erradicativa) e subdoses dos fungicidas, seja consciente, pela redução da dose no tanque, ou pelo erro de tecnologia de aplicação. Em análise realizada por Schmitz et al. (2014) foram observadas mutações pontuais do gene *CYP51* em isolados de *P. pachyrhizi* (safra 2009/2010) provenientes de diferentes regiões brasileiras produtoras de soja, indicando redução na sensibilidade aos IDM. Em outro trabalho, realizado por Klosowski et al. (2016) ocorreram mutações no gene *CYTB*, códons F129L, G137R e G143A em isolados de *P. pachyrhizi* (safra 2013/14), confirmando redução de sensibilidade aos fungicidas IQe. Já em relação ao grupo químico carboxamida (ISDH), isolados de *P. pachyrhizi* das safras 2015/2016 e 2016/2017 apresentaram uma mutação na subunidade C, códon I86F, causa provável da redução da sensibilidade do patógeno ao grupo químico (KLAPPACH, 2017). Essas mutações resultaram na redução de eficiência dos fungicidas, sendo que algumas estratégicas podem ser utilizadas visando minimizar essa situação como: fazer aplicações de fungicidas preventivamente alternando grupos químicos (triazol + estrobilurina, carboxamida + estrobilurina, misturas triplas) adicionados de fungicidas protetores (DEUNER & WINCK, 2016; VISINTIN et al. 2015), aplicar dose correta, respeitar intervalos de aplicação e utilizar tecnologia de aplicação que permita deposição satisfatória em todos os terços da planta.

Em trabalho realizado na CCGL (Cooperativa Central Gaúcha) com o cultivar NA 5909, na safra de soja

2016/17 (ano que não teve pressão intensa de doenças), testando-se quatro aplicações, iniciadas em V8 e com intervalos de 15 dias, observou-se que o aumento no intervalo entre as aplicações resultou em redução do controle de ferrugem de 85% para 73%, o que refletiu em 4 sacos ha^{-1} a menos na produtividade. Em anos favoráveis, as perdas em função de aumento nos intervalos de aplicação podem ser ainda maiores (Figura 6).

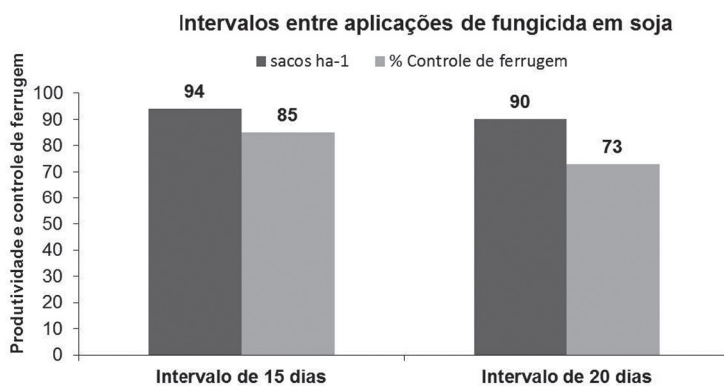


Figura 6. Impacto de distintos intervalos de aplicação de fungicida na produtividade e no controle de ferrugem asiática, realizados no cultivar NA5909, safra 2016/17. Adaptado de Wesp-Guterres, 2020.

A primeira aplicação de fungicida normalmente não é determinada pela presença da ferrugem asiática, e sim por oídio ou manchas foliares/doenças de final de ciclo, ainda antes do fechamento de linhas. Por isso, é importante que na escolha dos produtos a serem utilizados na primeira aplicação de fungicidas, o espectro de controle de doenças seja considerado, levando em conta não só ferrugem, mas outras doenças ocorrentes em soja. Caso a primeira aplicação não seja realizada, ou, seja realizada de forma atrasada, pode-se perder o potencial produtivo do cultivar, resultando em problemas de controle das doenças.

Nenhuma das estratégias mencionadas, quando utilizada de forma isolada, terá resultado satisfatório no controle da ferrugem-asiática. A associação de distintas estratégias é importante para manter a doença em ní-

veis mais baixos, evitando perdas significativas em produtividade e rentabilidade.

Manchas foliares e doenças de final de ciclo

A localização geográfica do Brasil confere privilégios agroclimáticos específicos de uma macrorregião localizada em torno dos trópicos. Essas condições permitem a sobrevivência, desenvolvimento e reprodução da grande maioria das espécies do planeta, sejam de interesse agrícola ou não. Neste particular, seres vivos que utilizam o cultivo agrícola como substrato para sua perpetuação, tem horizonte vasto para sobreviver, devido ao sistema de monocultivo. Este ambiente permite que uma grande gama de patógenos encontre condições excelentes para sobreviver por alguns meses do ano, mesmo com a ausência da cultura.

Os patógenos necrotróficos têm habilidade de sobreviver sem o hospedeiro vivo, através de estruturas de resistência no solo ou em atividades saprofitas, nutrindo-se da matéria orgânica. Alguns dos patógenos necrotróficos recorrentes na cultura da soja são chamados de doenças de final de ciclo (DFC). Essa nomenclatura é antiga e reflete o desconhecimento sobre a epidemiologia destes fungos, levando em conta somente a observação sintomática, presente no final do ciclo da cultura da soja. Porém, sabe-se que estas doenças incidem cedo no ciclo da soja, seja através de sementes contaminadas ou através do contato de plântulas com os restos culturais. Dentre os patógenos com estas características, encontram-se a mancha parda (*Septoria glycines*) e o crestamento por cercospora (*Cercospora* spp.).

Septoriose

A mancha parda ou Septoriose, causada pelo fungo *Septoria glycines*, está presente em todas as regiões produtoras de soja do Brasil e é favorecida por altas temperaturas e umidade alta. Os sintomas típicos da doença são caracterizados por manchas necróticas com halo amarelado nas folhas (ITO, 2013). A severidade da doença aumenta com o aumento do período de

molhamento de 6 a 36 horas e a temperatura ótima para desenvolvimento da doença é de 25° C, com desenvolvimento dos sintomas entre 15 a 30° C (ALMEIDA et al., 2005). Os sintomas característicos são pontuações de cor parda, com aproximadamente 1 mm que evoluem para machas com halos amarelados, com centro de contorno regulares que formam ângulos entre as nervuras (Figura 7), causando desfolha precoce em caso de infecção severa (ALMEIDA, 2005). Os danos causados pelo complexo de DFC geralmente são mitigados na lavoura pelo fato de ocorrerem, preferencialmente, no baixeiro das plantas, ocasionando queda forçada de folhas. Com o avanço do desenvolvimento da cultura há o adensamento do dossel, recobrando o local de maior atuação dessas doenças. Em função disso, muitas vezes, os danos são subestimados.

As principais medidas de controle de septoriose são: a utilização de sementes sadias, o tratamento de sementes e a aplicação de fungicidas em parte aérea, principalmente em caráter preventivo, o que possibilita melhor cobertura da calda em cada terço da planta e assegura maior eficácia do fungicida, uma vez que a infecção está em estágio inicial (SARTO et al., 2013).

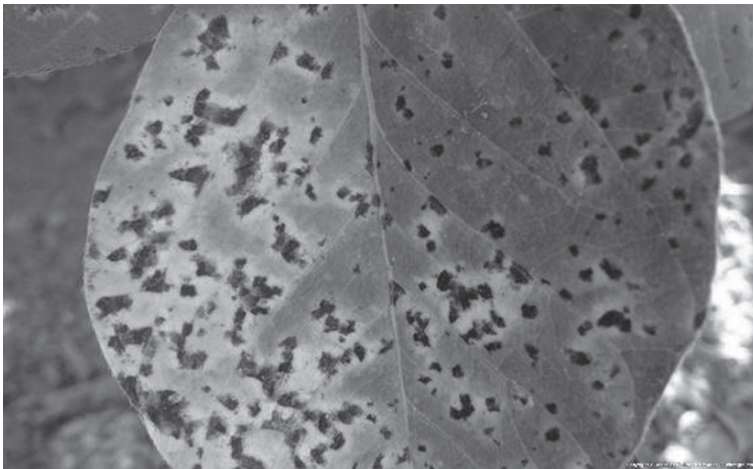


Figura 7. Sintomas de septoriose em soja (Tormem,N.R)

Mancha púrpura ou cercosporiose

Inicialmente atribuída apenas à *Cercospora kikuchii*, a mancha púrpura pode ser causada por outras espécies de cercospora. De acordo com Soares et. al. (2015), diversas espécies de cercospora podem ser encontradas atualmente, como *C. kikuchii*, *C. sojina*, *C. flagellaris* e *C. sigesbeckiae*. A evolução da doença ocorre através de uma fitotoxina produzida pela *Cercospora* spp., que auxilia diretamente na assertividade da diagnose do sintoma foliar. Esta toxina é chamada cercosporina.

A cercosporina teve o primeiro relato no Japão, por volta dos anos 70, onde os pesquisadores descreveram a rota de biossíntese desse composto (YAMAZAKI et al., 1975). Os pesquisadores concluíram que a rota se inicia com a condensação das moléculas de acetato e malato, estabelecendo a rota dos policetídeos, uma grande classe de metabólitos secundários presentes em bactérias, fungos, plantas e alguns animais.

Um fator fundamental para sua produção e virulência, é a presença de luz (UPCHURCH et al., 1991). A molécula de cercosporina absorve comprimentos de onda na faixa do visível, entre 400 e 600 nm, ou seja, do roxo ao amarelo. Com isso, o gatilho para produção desta fitotoxina é disparado imediatamente com a presença de luz, sendo suprimido com a presença do escuro. Além disso, temperaturas acima de 30°C inibem a produção de cercosporina. Isso auxilia para o entendimento de que em regiões mais quentes, a presença dos sintomas de crestamento de cercospora ficam mais visíveis em anos mais amenos ou, no final do ciclo da cultura.

Com a absorção de luz, a cercosporina é produzida, se energiza rapidamente e é convertida em um estado tripleto *Cerc** (espécies tripletas geradas enzimaticamente capazes de transferir energia a vários aceptores). Nesta forma, a *Cerc** transfere energia para a clorofila, tornando-a tripleta (*Chl**), que por sua vez irá transferir a energia para o aceptor mais ávido por elé-

trons, o oxigênio. Com elétrons desapareados, inicia-se a produção em cascata de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) na célula vegetal, como oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), radical superóxido ($\cdot\text{O}_2$), radical peroxila (HO_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^\cdot). As EROs, provocam a peroxidação lipídica (Figura 8 A), destruindo a integridade celular, induzindo o extravasamento do conteúdo citoplasmático (Figura 8B), causando a morte da célula (DAUB & EHRENSHAFT, 2000). Algumas hipóteses direcionam que o extravasamento de nutrientes do citoplasma para os espaços intercelulares facilita o crescimento e esporulação do fungo (DAUB et al., 1982).

A produção de Cercosporina é realizada pela *Cercospora* spp. para auxiliar no processo de infecção e virulência sobre o hospedeiro suscetível. O primeiro relato dessa associação foi feito por Upchurch et al. (1991), observando que mutantes do patógeno, que não produzem cercosporina, não eram capazes de causar infecção em folhas de soja. Em outros trabalhos, Almeida et al. (2005) encontraram uma relação de 83% entre os patógenos que produzem cercosporina e a severidade da doença na planta. Abordaram ainda que, isolados que apresentaram mais halos roxos a vermelhos em meio de cultura, também foram aqueles que produziram mais cercosporina e, portanto, foram os mais virulentos. Além disso, isolados que produziram baixos níveis da fitotoxina, causaram lesões muito pequenas e de baixa taxa de progresso. Outro fator importante nesta relação e expressão dos sintomas, é a presença de luz. Diversos estudos comprovaram que no escuro ou sombreado, a penetração e evolução dos sintomas foi menor, quando comparado com a condição sob luz direta. Essa característica elucidada a diagnose, ora confusa, com a expressão sintomática da doença. Os sintomas de crestamento de cercospora são visualizados nas folhas de cima da cultura (Figura 9A) e dificilmente no terço inferior, onde a prevalência é da mancha parda.

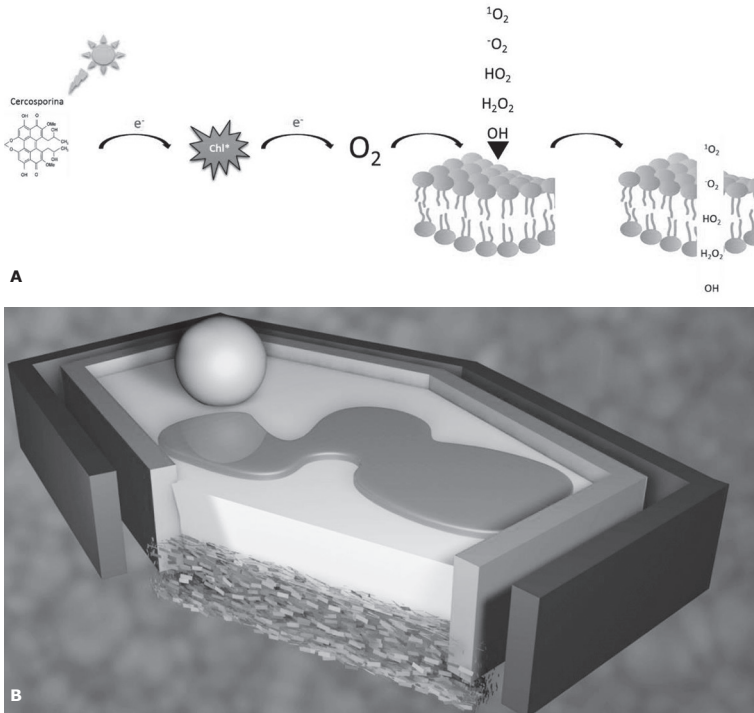


Figura 8. A) Rota simplificada da peroxidação lipídica; B) destruição da membrana pela peroxidação lipídica.

A partir do estágio de formação do grão até o seu enchimento, ocorre o momento de maior expressão dos sintomas de crestamento. Nas folhas de cima, inicia-se o processo de expressão sintomática, através de um leve bronzeamento na região entre-nervuras do folíolo (Figura 9B), facilmente confundido com fitotoxidade de adjuvante. Com o avanço do ciclo da cultura, provido de molhamento foliar para hidratação dos conídios e produção de cercosporina, os sintomas evoluem, passando rapidamente para clorose (Figura 9C), seguida de necrose (Figura 9D) e torção da borda do folíolo (Figura 9E). Em alguns casos, ainda é possível verificar um arroxamento das nervuras (Figura 9F), hastes (Figura 9G) e legumes (Figura 9H), finalizando o ciclo do patógeno no hospedeiro, com o grão (Figura 9I).



Figura 9. Sintomas de cercosporiose no ponteiro da planta (A), entre-nervuras do folíolo (B), clorose foliar (C), necrose foliar (D), torção da borda do folíolo (E), arroxejamento das nervuras (F), hastes (G), legumes (H) e no grão (I).

Tombamentos

A morte de plântulas de soja, também conhecida como tombamento ou *damping-off*, é um problema relativamente comum após a semeadura da cultura. Dentre as possíveis causas estão a ocorrência de fungos associados às sementes ou presentes no solo e nos restos culturais, o ataque de insetos, a fitotoxidez por residual de herbicidas e estresses fisiológicos. E, em algumas situações, mais de um fator pode estar envolvido.

Períodos de elevada precipitação ou solos mal drenados, quando associados a altas temperaturas, favorecem a ocorrência de tombamento fisiológico ou cancro de calor, caracterizado pelo estrangulamento do hipocótilo ao nível de superfície do solo. Solos sem cobertura de palha, argilosos e compactados estão mais sujeitos ao problema. O cancro de calor pode ser confundido com a ocorrência de doenças fúngicas, o que não impede que, em algumas situações, haja a associação de fungos às lesões inicialmente provocadas por temperaturas elevadas.

A ocorrência de elevados volumes de chuva associados a oscilações de temperatura (muitas vezes no mesmo dia), as semeaduras em solos úmidos ou semeaduras profundas e sobre camadas compactadas, podem debilitar as raízes, favorecendo o ataque de fungos de solo. Dentre os fungos que podem causar tombamento de plantas em soja, os mais frequentes são *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Colletotrichum* e *Fusarium*.

O fungo *Rhizoctonia solani* é um dos mais importantes patógenos que afeta a cultura da soja no Brasil, causando doenças conhecidas como "Rizoctoniose", "Requeima", "Mela da Soja", "Podridão da Raiz e da Base das Hastes" ou ainda "Tombamento ou Morte em Reboleiras". É um patógeno que pode atacar grande número de espécies vegetais, cultivadas ou não, sendo um habitante natural dos solos. A ocorrência de problemas

no desenvolvimento inicial da soja pode se dar em pré-emergência ou pós-emergência, sendo que a presença do patógeno na lavoura atacando as plantas pode causar redução do estande inicial.

Todos os órgãos da planta de soja podem mostrar sintomas do ataque deste patógeno, como sementes, plântulas, hastes e folhas (Figura 10). O sintoma mais comum de encontrar no Rio Grande do Sul, principalmente em lavouras de soja onde ocorre rotação com arroz irrigado, é o "Tombamento de plântulas", estrangulamento do caule na região do colo (Figura 11), que pode ocorrer no período compreendido entre a pré-emergência e 30 dias após a emergência das plântulas, quando ocorrem condições de temperatura e umidade elevadas. Os sintomas conhecidos como Tombamento em Pós-emergência são observados quase sempre na região do colo, apresentando manchas encharcadas que rapidamente ficam escuras, tornando-se deprimidas; o ataque do patógeno ocorre também nas raízes, que se apresentam escurecidas e se decompõe em curto espaço de tempo. O sintoma de Tombamento em Pré-emergência ocorre quando a semente ou a plântula apodrecem por ação do patógeno antes de ocorrer a saída do solo. Sintomas mais tardios, que ocorrem na parte aérea, podem causar a queima de folhas (Mela) e também lesões em hastes e pecíolos de folhas. Estes sintomas da parte aérea podem ser relacionados à perda de produtividade.

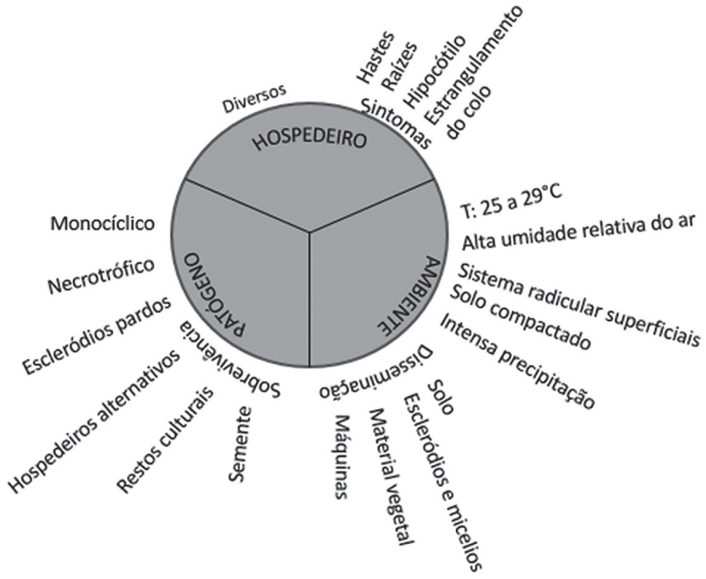


Figura 10. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Rhizoctonia solani* (MADALOSSO, M.G.).

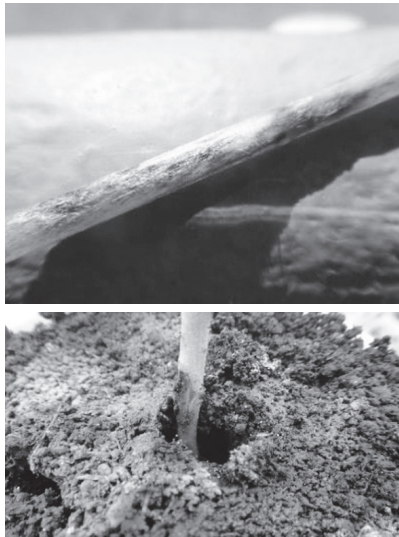


Figura 11. Sintomas de *Rhizoctonia solani* em hipocótilos de soja (MADALOSSO, M.G.).

O manejo deste patógeno na cultura da soja deve ser realizado através de medidas integradas como o controle cultural, químico e genético. São boas práticas de manejo cultural a descompactação do solo, para evitar o encharcamento, a utilização de sementes de boa qualidade fitossanitária, o aumento do espaçamento entre plantas e linhas e o uso de rotação de culturas com gramíneas, embora deva ser dada uma atenção especial à rotação com arroz, já que também é hospedeira do patógeno. O tombamento de plântulas pode ser restringido através do tratamento de sementes com fungicidas, visando a proteção contra o patógeno presente no ambiente, durante o processo de germinação/emergência. O uso de fungicidas na parte aérea da soja se torna difícil, pela necessidade de aplicação preventiva e imprevisibilidade da ocorrência da doença.

O manejo genético pode ser usado, e existem relatos de fontes de resistência à *R. solani* em plantas de soja, porém existe pouca informação no Brasil sobre cultivares que tenham resistência ou tolerância aos danos causados. Algumas cultivares estão sendo estudadas com o propósito de suprir essas necessidades, principalmente em locais que apresentam maiores incidências de umidade ou onde possa ocorrer encharcamento por longos períodos, propiciando maiores e melhores condições para o desenvolvimento de doenças de solo, como é o caso de solos de várzea. Em trabalho realizado na Universidade Federal de Santa Maria (RS), dez cultivares de soja foram testados para resistência/tolerância ao tombamento causado pelo patógeno: TEC 5833, TEC 6029, TEC IRGA 6070, CEP 64, M 6410, DM 6458, NS 5959, BMX Ponta, BMX Valente e Syn V-TOP. As análises mostraram diferenças significativas entre as cultivares, para a germinação sob inoculação com o patógeno, onde a cultivar NS 5959 se destacou, não diferindo das cultivares TEC IRGA 6070 e CEP 64, embora todas cultivares apresentem boa capacidade de desenvolvimento nas condições de umidade utilizadas (Figura 12). Quanto a

ocorrência de tombamento em pré-emergência, observou-se também diferença entre as cultivares, sendo que as cultivares que apresentaram menores índices de podridão da semente, causadas pelo fungo, foram NS5959, CEP 64 e TEC IRGA 6070, indicando a capacidade de tolerar a doença, quando comparadas com as demais cultivares (Figura 13).

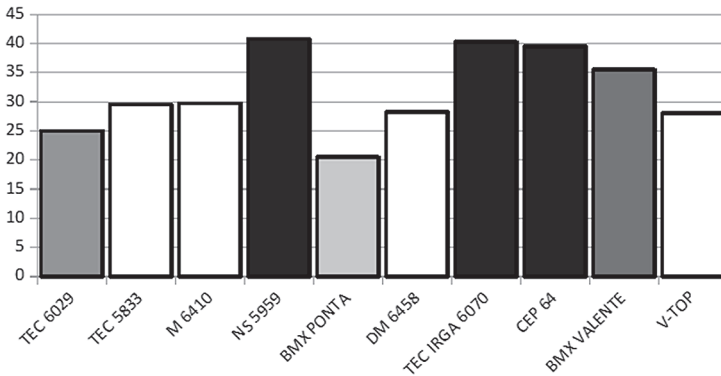


Figura 12. Médias do Índice de Emergência de cultivares de soja, avaliadas sob condições de inoculação com *R.solani*, aos 28 dias após a emergência. Santa Maria (RS), 2020.

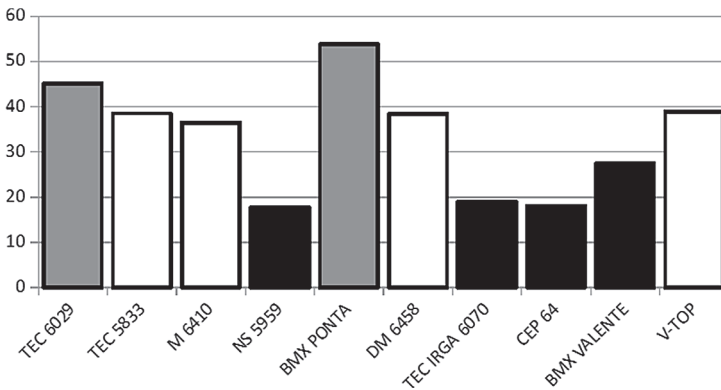


Figura 13. Médias de Porcentagem de Tombamento em Pré-Emergência, avaliado aos 28 dias após a emergência, em tratamentos inoculados com *R. solani*. Santa Maria (RS), 2020.

Os sintomas causados por *Phyтім* e *Phytophthora* são similares. A principal característica é o apodrecimento mole da extremidade da raiz. No caso de *Phyтім*, pode ocorrer apodrecimento mole na porção superior do hipocótilo e a ocorrência de lesões profundas nos cotilédones. Os sintomas podem ocorrer na linha de semeadura ou de forma aleatória. Dependendo da espécie de *Phyтім* envolvida, os sintomas podem manifestar-se em solos quentes ou frios (o que é mais comum) (Figura 14) e apresentar sintoma de encurtamento da radícula (Figura 15).

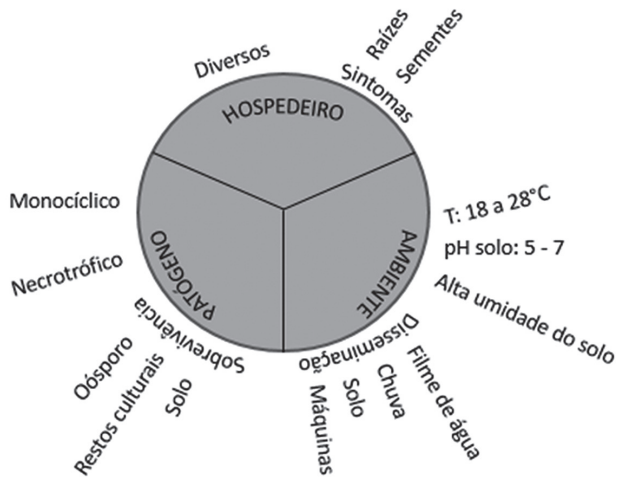


Figura 14. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Phyтім* spp. (MADALOSSO, M.G.).



Figura 15. Sintomas de *Phyтім* spp. em soja (GULART, C.A.).

Assim como *Phytmium*, a *Phytophthora* é favorecida por solos mal drenados, com problemas de compactação e em períodos de alta umidade (Figura 16). Os tombamentos causados por *Phytophthora* ocorrem em solos aquecidos, resultando em morte da raiz principal e/ou secundárias, que se rompem facilmente quando as plantas são arrancadas do solo (Figura 17).

Estratégias de manejo para *Phytmium* e *Phytophthora*:

1. Cultivares tolerantes
2. Drenagem do solo
3. Rotação de culturas
4. Evitar excesso de irrigação ou má drenagem do solo
5. Evitar deficiência de K e P
6. Época de semeadura para cultivar em temperaturas maiores.
7. Tratamento de sementes.

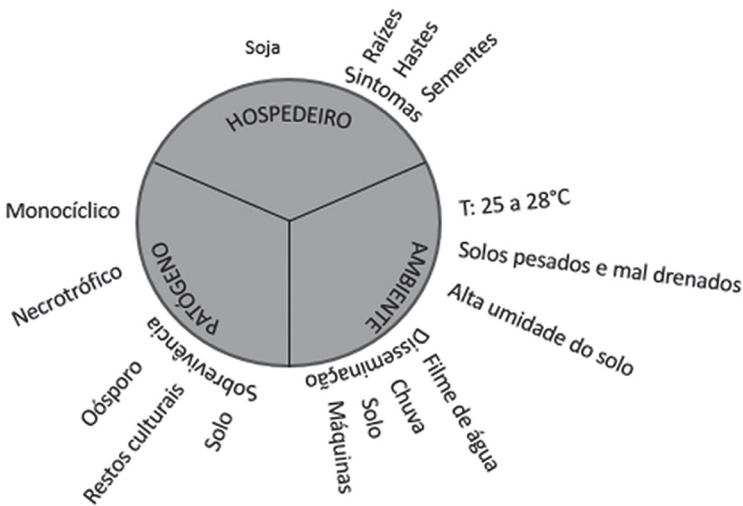


Figura 16. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Phytophthora sojae* (MADALOSSO, M.G.).

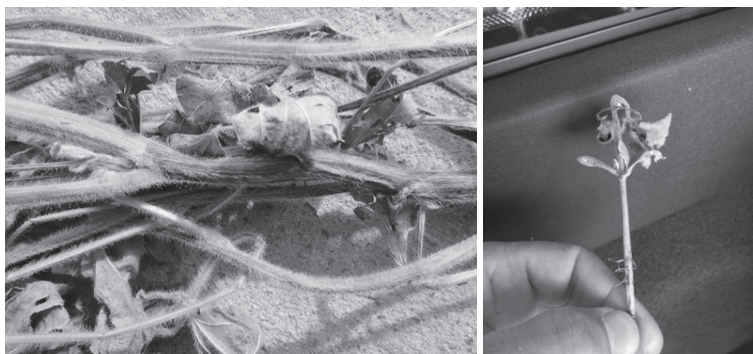


Figura 17. Sintomas de *Phytophthora sojae* em soja (MADALOSSO, M.G.).

O fungo causador da antracnose, *Colletotrichum dematium* var. *truncatum*, também pode causar morte de plântulas (Figuras 18 e 19). Os sintomas caracterizam-se por lesões escuras e profundas nos cotilédones. Essas lesões podem se estender para o epicótilo e radícula, levando ao tombamento. Embora os sintomas causados por *Fusarium* sejam mais frequentes após o florescimento de soja, o fungo pode causar deterioração de sementes e morte de plântulas. Assim como o tombamento causado por *Colletotrichum*, os sintomas de *Fusarium* são comuns em períodos de umidade, associados a altas temperaturas.

Estratégias de manejo:

- Utilização de sementes livres do patógeno.
- Tratamento de sementes.
- Aumento do espaçamento entre linhas e redução da densidade de plantas.
- Rotação de culturas.
- Início do programa de aplicação de fungicidas no período vegetativo.

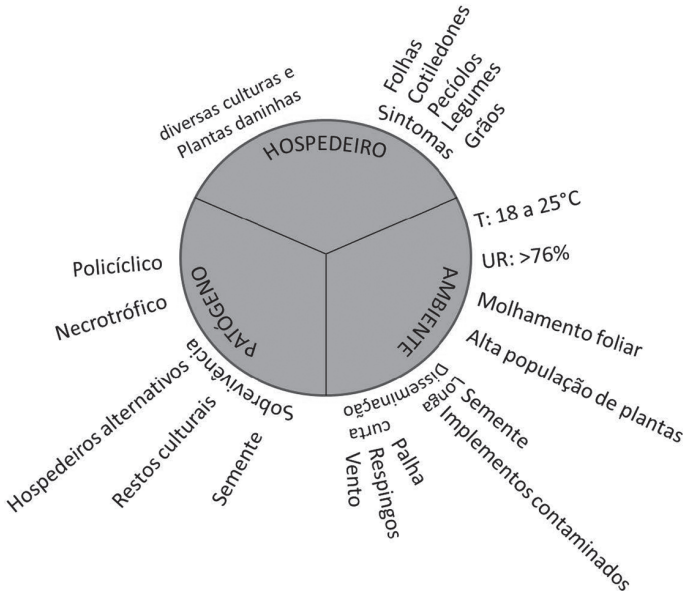


Figura 18. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Colletotrichum dematium* var. *truncatum* (MADALOSSO, M.G.).



Figura 19. Sintomas de *Colletotrichum dematium* var. *truncatum* (MADALOSSO, M.G.).

Podridões radiculares

A tecnologia disponível envolvida no cultivo de soja e a facilidade de comercialização da cultura dificultam aos produtores buscarem alternativas de rotação. Desta forma, a manutenção de apenas uma cultura em sequência, ao longo de anos, pressiona a população dos indivíduos do solo a serem selecionados e se estabelecerem. Com isso, a diversidade da biota do solo acaba reduzindo, predominando indivíduos fitopatogênicos em escala crescente. Indivíduos benéficos acabam por perder esta *briga*, pois suas condições de sobrevivência e competição acabam ficando limitadas.

Os resultados de tudo isso são solos cada vez mais contaminados com esses indivíduos fitopatogênicos, causando sérios problemas aos produtores rurais. São diversos patógenos envolvidos neste processo, como *Phytophthora sojae*, *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Phomopsis* spp., etc.

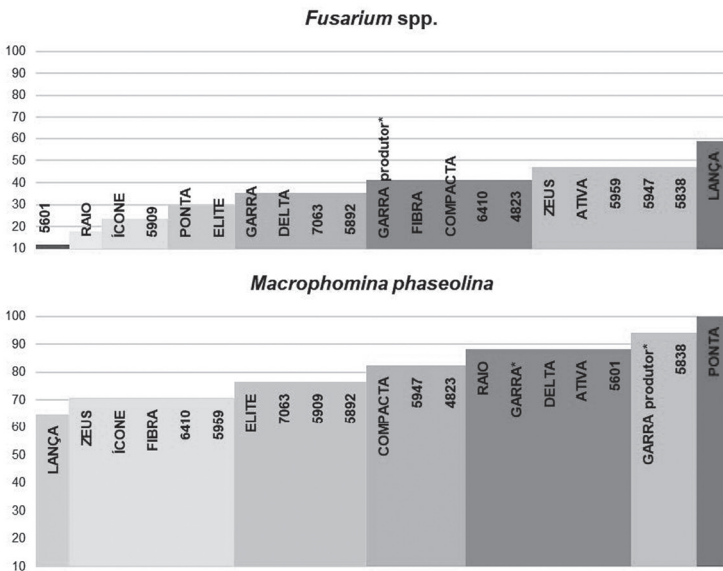
Focando em buscar alternativas para o manejo sustentável em monocultura de soja, foi desenvolvido um estudo em 20 cultivares de soja para avaliar sua rusticidade e a contribuição ou não do Tratamento de Sementes Industrial (TSI) em uma delas, frente aos patógenos de solo (*Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina* e *Phomopsis* spp.) e a resultante sobre a produtividade. Além disso, na parte aérea, foram feitas variações nos fungicidas, a fim de verificar se há interação do TSI com os investimentos realizados na proteção foliar.

O trabalho foi realizado no município de Capão do Cipó (Região Centro-Oeste do RS), em área de monocultura com histórico de podridões radiculares em soja. As 20 cultivares de soja com TSI (Standak® Top (2 ml/kg) e Yaravitta® (2 ml/kg)) foram doadas pela empresa 3 Tentos S/A: NIDERA 5959 IPRO, MONSOY 5947 IPRO, MONSOY 5892 IPRO, MONSOY 6410 IPRO, TMG 7063 IPRO, BRASMAX ATIVA RR, BRASMAX LANÇA IPRO, BRASMAX RAIÓ IPRO, BRASMAX ICONE IPRO, BRASMAX PONTA IPRO, BRASMAX ELITE IPRO, BRASMAX ZEUS IPRO, BRASMAX DELTA IPRO, BRASMAX COMPACTA IPRO, BRASMAX FIBRA IPRO, BRASMAX GARRA IPRO,

MONSOY 5838 IPRO, BRS 5601 RR, NIDERA 5909 RR, NIDERA 4823 RR. Apenas a BRASMAX GARRA IPRO foi possível conseguir a semente sem tratamento, representada pela “Garra produtor”. Além disso, as cinco aplicações foliares foram divididas em três tratamentos: testemunha sem aplicação, apenas fungicidas sítio-específicos e fungicidas sítio-específicos + multissítios. Antes da colheita, as plantas foram coletadas e levadas ao laboratório de fitopatologia da URI Santiago/RS para a identificação e quantificação da porcentagem de incidência das doenças radiculares.

Os resultados apresentaram respostas interessantes, para a variação de rusticidade entre os materiais e do TSI aos patógenos de solo, bem como para a interação deste com as aplicações foliares.

Na impossibilidade da rotação de culturas, o uso de cultivares com algum grau de resistência pode ser importante. A variação de rusticidade para os materiais foi grande entre os patógenos estudados (*Fusarium spp.*, *Macrophomina phaseolina* e *Phomopsis spp.*) (Figura 20). Esses resultados são importantes na hora da seleção de cultivares para áreas afetadas com estes indivíduos.



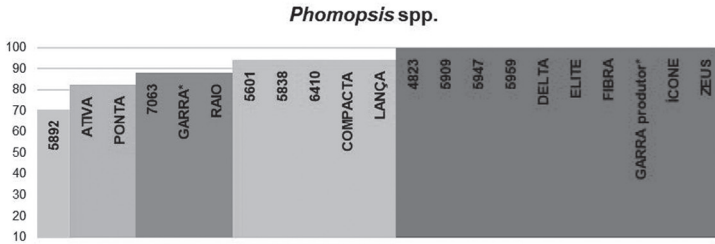


Figura 20. Rusticidade de cultivares de soja aos patógenos de solo (MADALOSSO, M.G.).

Saindo da questão específica das cultivares, a resposta ao TSI também foi positiva. Como dito anteriormente, a cultivar BRASMAX GARRA IPRO foi a única possível de fazer o contraponto entre a semente com o TSI e a semente limpa (sem TSI) (Figura 21). Os resultados mostraram que apesar de parecer que o TSI esteve presente “apenas no plantio”, seu uso foi fundamental para minimizar os problemas radiculares que foram visualizados futuramente. Isso ajuda a entender que a infecção dos patógenos radiculares começou desde a emissão da radícula pela semente, após o período de embebição, ou seja, antes mesmo da emergência. Assim, percebeu-se que o uso do TSI foi fundamental para a redução da quantidade de plantas atacadas com *Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina* e *Phomopsis* spp.

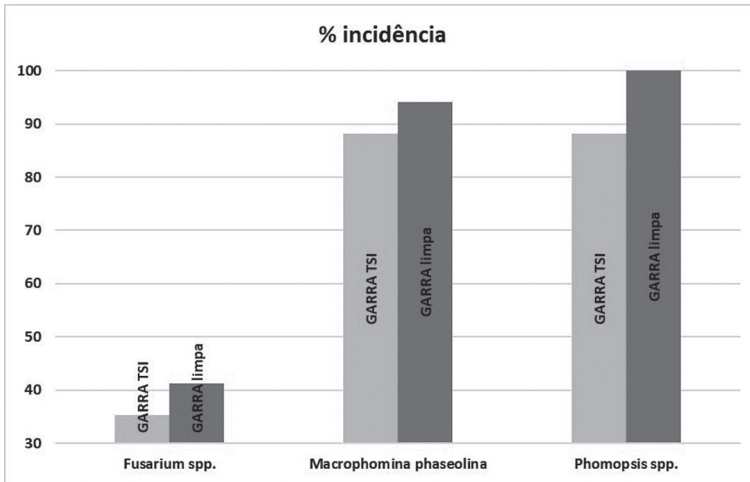


Figura 21. Diferença de incidência de patógenos de solo em áreas com e sem TSI (MADALOSSO, M.G.).

Por fim, na busca da relação entre o uso do TSI com as aplicações de fungicidas foliares, foram obtidas respostas positivas (Figura 22). Foi possível observar que a ausência de proteção na semente esteve relacionada com a produtividade mais baixa. Mesmo sem nenhuma aplicação (testemunha), houve diferença de 0,8 sacas de soja/ha a mais, onde foi apenas o TSI, mostrando sua resposta positiva isolada. Já quando foram realizadas as aplicações foliares, houve diferença também entre o nível de investimento nas aplicações (apenas sítio-específicos ou misturas com multissítios). Assim, foi verificado que quando o investimento é maior (mistura de sítio-específico + multissítio), a resposta desde o TSI é maximizada. Com isso, se o produtor optar por fazer aplicações foliares e não utilizar um TSI, ele pode perder produtividade pela ausência da contribuição deste para o programa de proteção da planta.

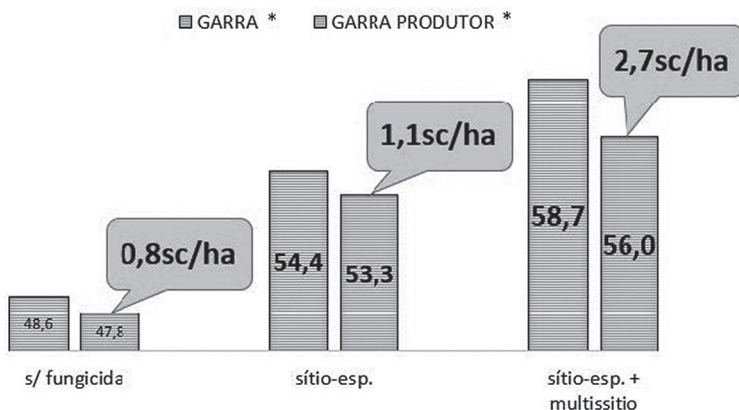


Figura 22. Relação entre o uso do TSI e o investimento em aplicações foliares (MADALOSSO, M.G.).

Com base neste trabalho, foi possível concluir que, quando possível, deve-se buscar cultivares com maior rusticidade às doenças radiculares, especialmente em áreas de histórico. O TSI foi fundamental para a proteção inicial das raízes e se refletiu até o final do ciclo da planta. Quanto maior foi o investimento em qualidade de fungicidas para o controle de doenças foliares, maior é o retorno do uso do TSI. Ademais, o conhecimento do triângulo da doença é mais um fator que pode auxiliar no convívio e redução dessas doenças de solo (Figuras 23, 24 e 25).

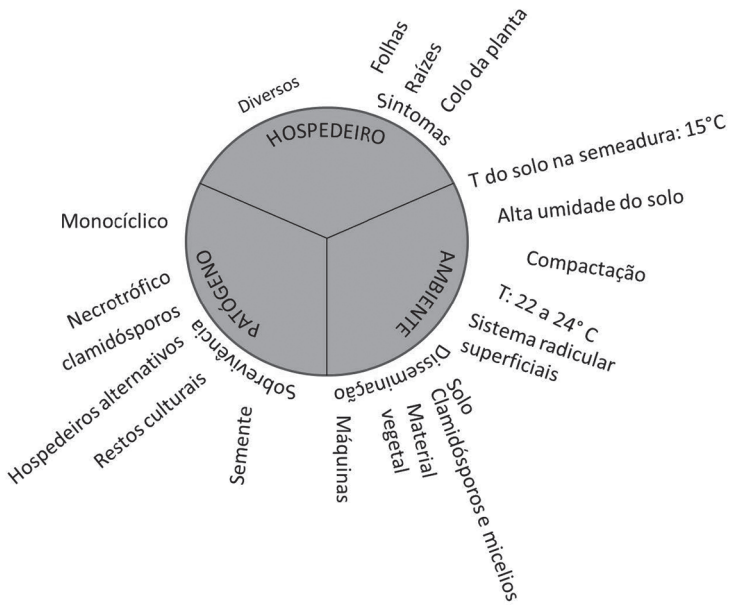


Figura 23. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Fusarium* spp., (MADALOSSO, M.G.).

Estratégias de manejo:

1. Resistência varietal quando existente.
2. Tratamento de sementes visando eliminação de clamidósporos aderidos às sementes.
3. Manejo físico e químico do perfil do solo e posterior estabelecimento do plantio direto buscando manter a umidade e matéria orgânica do solo através da palha.
4. Época de semeadura buscando evitar épocas úmidas e com temperatura amena no solo.
5. Evitar altas densidades de plantio predispondo as plantas a estresses.

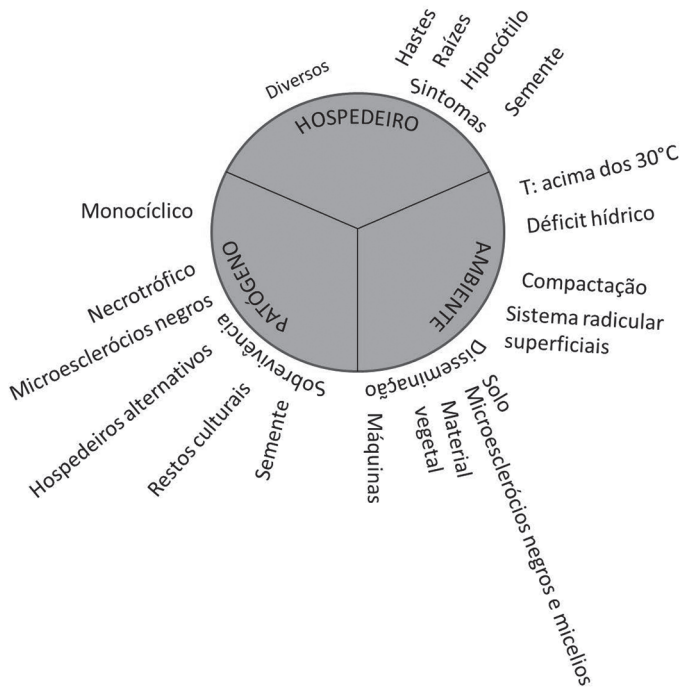


Figura 24. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Macrophomina phaseolina* (MADALOSSO, M.G.).

Estratégias de manejo:

- Resistência varietal quando existente;
- Época de semeadura ou ciclos diferentes objetivando evitar períodos de déficits hídricos e altas temperaturas;
 - Manejo físico e químico do perfil do solo e posterior estabelecimento do plantio direto buscando manter a umidade e matéria orgânica do solo através da palha.
 - Tratamento de sementes visando eliminação de microesclerócios aderidos a sementes.
 - Evitar altas densidades de plantio predispondo as plantas a estresses.

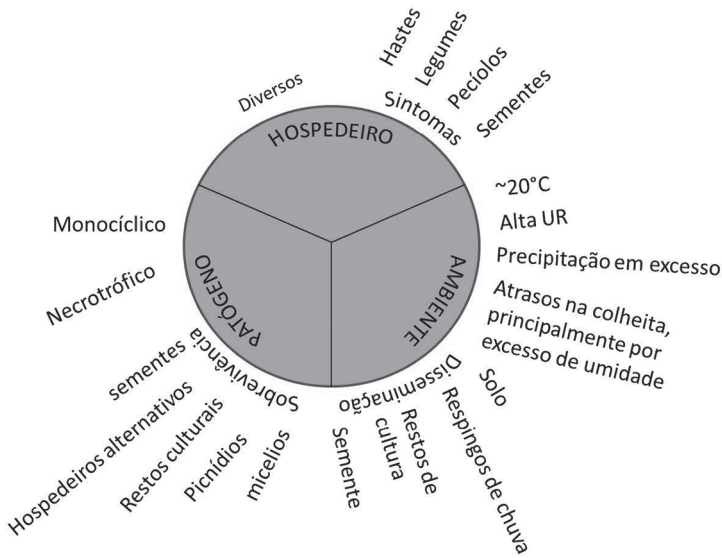


Figura 25. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Phomopsis* spp. (MADALOSSO, M.G.).

Estratégias de manejo:

1. Utilização de sementes livres do patógeno.
2. Rotação de culturas com gramíneas ou espécies não hospedeiras.
3. Propiciar o fechamento mais rápido das entrelinhas.
4. Tratamento de sementes.
5. Aplicação de fungicidas na parte aérea.
6. Realização da colheita mais próxima da maturidade fisiológica.
7. Maior tempo de armazenagem das sementes é prejudicial ao patógeno.

Mofa branco - *Sclerotinia sclerotiorum*

O mofo branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, era considerado até pouco tempo, uma doença de importância secundária para a soja na maioria das regiões do Rio Grande do Sul. No entanto, nas últimas safras foram observados aumentos

significativos de áreas com incidência do problema. Dentre as 31 cooperativas associadas à CCGL – Cooperativa Central Gaúcha LTDA., cerca de 70% relatam a ocorrência da doença em lavouras pertencentes a suas áreas de atuação. Destas, 93% perceberam o aumento da doença nas últimas safras. Dentre os principais fatores para o aumento de áreas com incidência de mofo branco, destacam-se as condições climáticas e as práticas de manejo (Figura 26).

Em relação ao clima, a temperatura mais baixa observada nas safras 2016/17 e 2017/18, que na média, ficou entre 1 e 1,5°C abaixo das médias observadas na safra 2015/16, merece destaque. A boa disponibilidade hídrica, que favoreceu a produtividade na maioria das regiões produtoras, também favoreceu o desenvolvimento da doença nestas condições. Em condições de umidade prolongada e temperaturas entre 10°e 21°C, os escleródios presentes no solo (estruturas de sobrevivência do fungo que podem sobreviver por até cinco anos à espera de condições favoráveis) germinam, dando origem aos apotécios (estruturas de frutificação que lembram uma taça) (Figura 27 A). Os apotécios produzem os ascósporos (esporos de *S. sclerotiorum*) que são ejetados e podem atingir as plantas de soja em um raio de até 50m. Qualquer parte da planta pode ser infectada, desde vagens, folhas, hastes e axilas. Contudo, as flores são consideradas a principal fonte de nutrientes para as infecções iniciadas via ascósporos. Assim, para soja, a fase de maior vulnerabilidade vai do início do florescimento (R1) até o início da formação de grãos (R5).

Um dos principais veículos de disseminação da doença é a semente. A transmissão pode ocorrer através de micélio dormente, presente internamente nas sementes, ou, através de escleródios associados a estas. Em 2009, a Portaria nº 47, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) passou a recomendar que sejam recusados lotes de sementes de soja que apresentam 01 (um) escleródio/500 g semente.

A utilização de sementes salvas e sem beneficiamento pode contribuir para a disseminação do fungo, que pode reduzir em até 40% a produtividade das lavouras. Se oriundos de áreas com contaminação por mofo branco, mesmo lotes aparentemente sem contaminação, podem conter micélio do fungo no interior de sementes. Neste sentido, a utilização de sementes de qualidade, certificadas, com boa germinação e vigor é de fundamental importância. Caso as sementes sejam provenientes de áreas onde se observou a presença de mofo branco, o tratamento de sementes com fungicida específico (fluzinam + tiofanato metílico) faz-se necessário.

O fungo *S. sclerotiorum* possui um grande número de plantas hospedeiras, que vão desde a soja, feijão, girassol, algodão, ervilha, canola, nabo a espécies de plantas daninhas. Cerca de 60% dos produtores nas áreas de abrangência das cooperativas utilizam a soja em monocultivo e, em muitas situações, plantas daninhas estão presentes nas lavouras. Além disso, é comum a utilização de nabo forrageiro no período de inverno. Em áreas com ocorrência frequente da doença se recomenda a rotação de culturas com espécies não hospedeiras por pelo menos duas safras. Nestes casos, em condições ambientais favoráveis a doença, os escleródios germinam e produzem ascósporos, que não encontram hospedeiros suscetíveis e acabam por sucumbir. Uma boa opção para a rotação no verão são espécies de gramíneas, como o milho. As culturas de inverno também têm de ser escolhidas com cuidado, já que podem ser fonte de introdução da doença nas áreas, através de suas sementes ou servir como fonte de multiplicação em caso de inóculo já presente na lavoura. Em estudo realizado pelo Laboratório de Fitopatologia da CCGL, grande parte dos lotes de sementes de nabo forrageiro analisados apresentaram infecção de mofo nas sementes, seja pela presença de escleródios (Figura 27 B) ou de micélio interno nas sementes, em uma taxa média de 6,5% de infecção/lote.

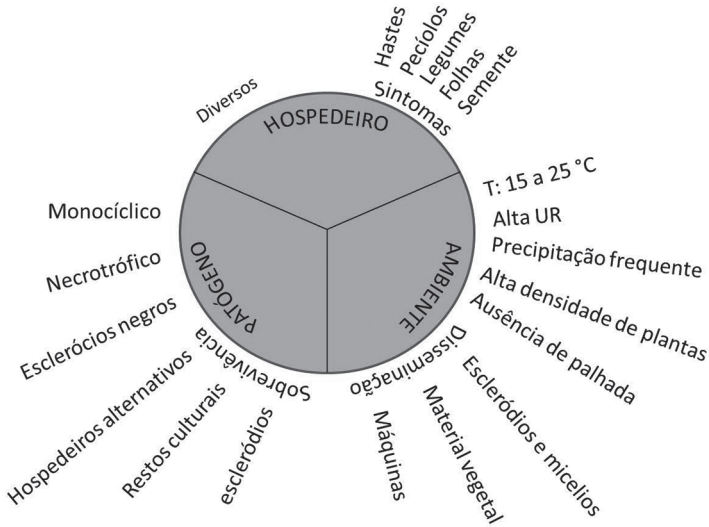


Figura 26. Fatores epidemiológicos e sintomáticos de *Sclerotinia sclerotiorum*. (MADALOSSO, M.G.).

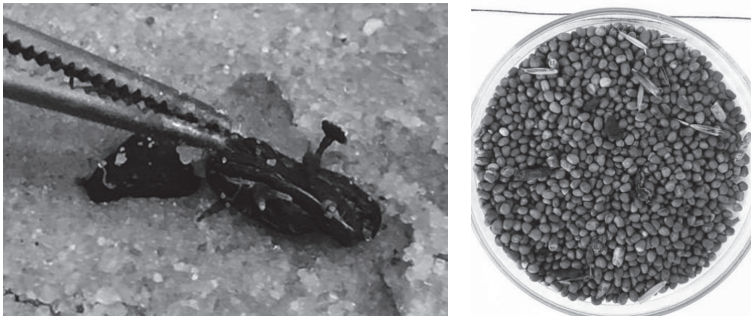


Figura 27. A) Escleródio de *Sclerotinia sclerotiorum* germinado, formando corpos de frutificação, o apotécio. B) Escleródios de mofo branco associados às sementes de nabo. Fotos: Caroline Wesp Guterres e Elaine Deuner.

A presença de uma boa camada de palhada é fator importante no manejo do mofo branco. Além de atuar como barreira física, a pouca luminosidade conferida pela cobertura morta, principalmente de gramíneas, facilita que os escleródios sejam destruídos mais rapi-

damente, através da ação de microrganismos antagonistas. Nessa linha, o controle biológico também tem se apresentando como alternativa eficiente para minimizar o avanço do mofo branco. As principais espécies de antagonistas utilizados no manejo são *Trichoderma* sp. e *Bacillus subtilis*, que podem ser utilizados via tratamento de sementes, na entressafra ou nos períodos iniciais de cultivo da soja. O principal cuidado a ser tomado, é respeitar as condições ideais para aplicação e desenvolvimento dos antagonistas. Essas condições requerem uniformidade na frequência de chuvas na fase vegetativa da cultura da soja e manutenção de temperaturas amenas na superfície do solo (até 25°C), sendo a cobertura do solo com palhada um pré-requisito que contribui para a manutenção deste ambiente. Para *Trichoderma* as temperaturas ideais ficam entre 25° e 28°C e alta umidade. Temperaturas entre 10° e 17° C reduzem seu crescimento micelial.

O uso de fungicidas para o controle de mofo é recomendado, de preferência de forma preventiva, a fim de proteger hastes, ramos, folhas e flores. Em áreas com histórico da doença e/ou quando são observados apotécios de *S. sclerotiorum* a recomendação é de que as aplicações sejam iniciadas no fechamento das entre-linhas, a partir de R1 em cultivares de hábito de crescimento determinado e a partir de R2 em cultivares de hábito indeterminado. Caso as condições ambientais sejam favoráveis à doença ou sejam observados apotécios, indica-se nova aplicação de fungicida em intervalo não superior a 10 dias.

Tabela 1. Percentual de controle de mofo e redução da produção de escleródios (Redução massa de escleródios) em função dos tratamentos fungicidas utilizados nos ensaios cooperativos de controle de mofo-branco em soja, nas safras 2016/17 e 2017/18. Adaptado de Meyer et al., 2017 e Meyer et al., 2018 para Wesp-Guterres, 2018.

Fungicidas	% de controle	% Redução massa de escleródios
Tiofanato metílico R1 + 10DAA + 10DAA + 10 DAA		
Procimidona R1+10DAA		
Fluazinam R1+10DAA		
PNR ¹ Fluopyran R1+10DAA		
Dimoxistrobina + Boscalida R1+10DAA		
Fluazinam + Carbendazim ² R1+10DAA		
Carbendazim + Procimidona ³ R1+10DAA		
PNR Fluazinam + Tiofanato metílico R1+10DAA		
PNR Procimidona R1+10DAA		
PNR Isofetamid R1+10DAA		

¹PNR=produto não registrado junto ao MAPA; ²Teste somente na safra 17/18; ³Teste somente na safra 16/17.



A eficiência de fungicidas para controle de mofo branco e a redução da massa de escleródios nas safras 2016/17 e 2017/18 é apresentada na Tabela 1, que sumariza os dados dos Ensaio Cooperativos para avaliação da Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco, organizados pela Embrapa.

Uma vez que o percentual de controle observado com a utilização de fungicidas não ultrapassa 80%, a formação de escleródios ainda é possível. Sendo assim, devem ser adotadas estratégias de manejo que visem minimizar e inviabilizar a produção de escleródios na safra e na entressafra. Algumas medidas para controlar e evitar a disseminação da doença são: evitar o cultivo de espécies hospedeiras em áreas com incidência, quando do cultivo de soja evitar elevada população de plantas, aumentar o espaçamento entre-linhas, escolher cultivares com porte mais ereto e período mais curto de florescimento, evitar irrigação excessiva (nos casos

de áreas com pivô) e optar por épocas de semeadura que não coincidam com períodos de maior suscetibilidade em função das condições ambientais. Deve-se ainda, eliminar plantas guaxas de soja e/ou espécies daninhas hospedeiras. A melhor alternativa no manejo do mofo branco é evitar a introdução do fungo na lavoura. Assim, se tratando de espécies hospedeiras, como: soja, feijão, girassol, canola, nabo e outros, o uso de sementes com qualidade e procedência é fator decisivo.

Patógenos transmitidos via sementes

Qualidade da semente - o início do sucesso da lavoura

Um dos principais desafios para iniciarmos uma lavoura com alta produtividade é, sem dúvida, um estabelecimento satisfatório do estande de plantas. Nesse sentido, é condição indispensável termos sementes com qualidade física, sanitária e fisiológica (MACHADO, 2002). As últimas safras foram desafiadoras nesse sentido, pois além da baixa qualidade fisiológica das sementes utilizadas pelos produtores, é evidente a baixa qualidade sanitária dessas sementes, fato que vem piorando a cada safra. Nas últimas duas safras, estima-se que 20-30% das áreas de soja do Rio Grande do Sul precisaram ser ressemeadas. As semeaduras do cedo, iniciadas na segunda metade de outubro e primeira quinzena de novembro foram as mais afetadas.

Dentre os fatores que afetam a qualidade da emergência e crescimento inicial de plantas, muitos estão na mão do produtor, como por exemplo ***o uso de sementes de qualidade, a operacionalização de uma boa prática de semeadura e o investimento em maior qualidade física, química e biológica do solo***. Otimizando e ajustando esses fatores de manejo, o produtor poderá minimizar os problemas com as adversidades climáticas, as quais ele não tem o controle.

Os replantes se justificaram pela má emergência de plantas, ocorrido principalmente pela baixa tem-

peratura do solo, o que favoreceu o apodrecimento de sementes, morte de plantas já emergidas ou padrão irregular daquelas que se mantiveram vivas. Importante salientar que um dos principais problemas da semeadura em solos frios é o fato de postergar a emergência das plântulas para além dos 7 dias após a semeadura, fato que, além de prejudicar o residual dos fungicidas no tratamento de sementes, ainda aumenta o período em que essa semente fica exposta aos patógenos e insetos presentes no solo.

Os problemas observados foram relacionados principalmente a fungos habitantes do solo, e não tanto a fungos possivelmente presentes nas sementes. Os principais fungos frequentemente identificados nas situações de replantio, foram do gênero *Phytophthora sp.* e *Pythium sp.*, e em alguns casos fungos do gênero *Fusarium sp.* e *Rhizoctonia sp.* Tais fungos são habitantes naturais do solo e estão presentes em todas as safras, porém, seus danos dependem das condições do ambiente (MICHEREFF ET AL., 2005). Nessa safra as condições foram muito favoráveis, especialmente para os oomicetos *Phytophthora sp.* e *Pythium sp.*, que possuem esporos flagelados e tem a dispersão altamente favorecida em solos encharcados (ALMASIA et al., 2008).

Os principais sintomas ocasionados por esses fungos são apodrecimento de sementes, tombamento de plantas emergidas, anormalidade e deformações em plântulas, raízes escurecidas e redução de crescimento causando desuniformidade de plantas (WEILAND, 2011).

Por outro lado, em algumas situações foram observados danos também em função de patógenos que são transmitidos por sementes, tais como *Colletotrichum truncatum*, *Macrophomina phaseolina*, *Phomopsis spp.*, *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.* Esses patógenos, além de servirem de inóculo inicial das doenças, irão reduzir o vigor das sementes. Nesse caso, em condições ambientais adversas, como as observadas nas últimas safras, os problemas de emergência serão agravados.

Cenário atual

A proteção inicial da emergência com o uso de fungicidas em tratamento de sementes é prática fundamental, porém, é de grande importância a realização da patologia de sementes para que se tenha idéia de quais patógenos estão presentes no lote e em quais percentuais.

Existem diversas opções de fungicidas adequadamente formulados para uso em tratamento de sementes, sendo que o uso de produtos não recomendados para essa modalidade, pode comprometer a eficácia de controle e causar fitotoxicidade nas plantas.

Nos últimos 4-5 anos, felizmente tem-se observado um aumento na procura por laboratórios que realizem análise de patologia de sementes. Essa mudança de comportamento dos produtores se deve muito aos problemas crescentes em função das doenças associadas à semente. Nesse sentido, foi realizado um levantamento dos dados de patologias de sementes realizadas no Laboratório de Fitopatologia do Instituto Phytus nos últimos quatro anos (Figura 28). Esses dados refletem a realidade do produtor de soja do nosso estado, sendo grande parte das sementes “salvas” e um percentual menor de sementes certificadas.

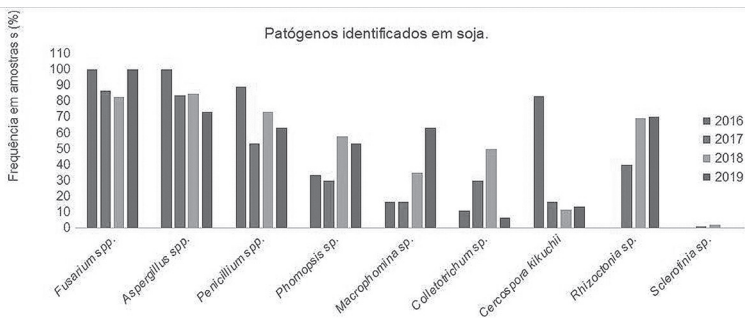


Figura 28. Frequência de patógenos em amostras de soja submetidas a análise sanitária. Instituto Phytus, 2019.

Observando os dados, percebemos que alguns patógenos como *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. (Figuras 29) apresentam frequência alta (variando de 50 a 100%) em praticamente todos os anos, nas amostras recebidas. A alta incidência destes patógenos está relacionada como atraso na colheita, bem como, com condições inadequadas de armazenamento, sendo que, entre os danos relacionados a estes patógenos, estão redução de vigor e morte das sementes por apodrecimento do embrião (HENNING et al, 2005). A partir do ano de 2017, nota-se aumento na frequência de patógenos como *Phomopsis* sp., *Macrophomina phaseolina*, *Colletotrichum truncatum*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum* (Figuras 29). Estes patógenos, além de ocasionarem danos na viabilidade das sementes, são responsáveis por doenças que irão causar danos nas demais fases de desenvolvimento da soja, tanto em sistema radicular, quanto em parte aérea. Por outro lado, no caso de um importante patógeno como *Cercospora kikuchii* (Figura 29), os dados mostram um decréscimo na ocorrência nas amostras analisadas. Cabe salientar que, muitas vezes, essa incidência pode ser subestimada pelo avaliador, pois nem toda semente que contém o patógeno apresenta a característica de formação de micélio característico e coloração roxa do tegumento. Além disso, o período de 7 dias de incubação, muitas vezes não é suficiente para a detecção do patógeno.

Por se tratar de patógenos necrotróficos em sua maioria, a tendência que se observa é o agravamento dos problemas/danos causados a cada safra, tendo em vista que, além de se perpetuarem nas sementes, esse tipo de patógeno sobrevive por longos períodos em restos culturais, assim como no solo, através de estruturas de resistência, como escleródios. O reflexo direto desse cenário de crescimento dos patógenos necrotróficos em soja é o aumento da incidência de doenças que anteriormente não eram consideradas importantes para a cultura.

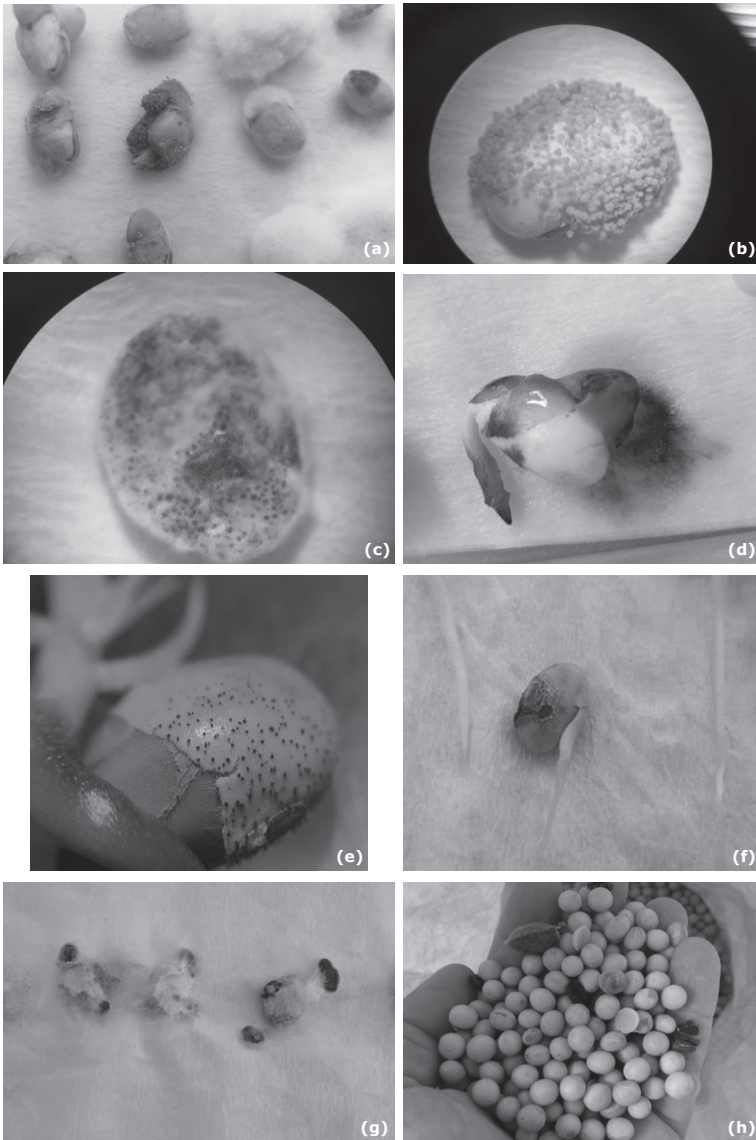


Figura 29. Sementes de soja com *Fusarium* sp. (a), *Aspergillus* sp. (b), *Phomopsis* sp. (c), *Rhizoctonia solani* (d), *Colletotrichum truncatum* (e e f), *Sclerotinia sclerotiorum* (g e h). Fotos: Gulart C.A

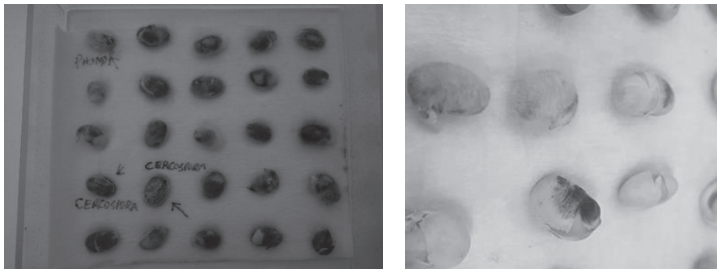


Figura 30. Sementes de soja com *Cercospora kikuchii*. (Gulart C.A)

De acordo com levantamento de diagnoses em soja realizado no laboratório do Instituto Phytus nos últimos 5 anos, pode-se observar que, acompanhando a tendência observada nas patologias de sementes de soja (Figura 29 e 30), há um aumento crescente até a safra 2018 de *Phomopsis* sp., *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Rhizoctonia solani*, doenças causadas por patógenos necrotróficos que são transmitidas por sementes.

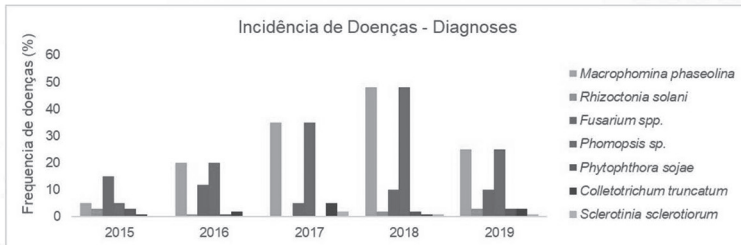


Figura 31. Frequência de doenças em diagnoses de plantas de soja. Instituto Phytus, 2019

A figura 31 nos mostra um aumento principalmente na incidência de *Macrophomina* sp., *Phomopsis* sp., *Phytophthora sojae* e *Rhizoctonia solani*. Os dados corroboram com o gráfico de frequência de patógenos em sementes de soja (Figura 28), demonstrando que essas são as doenças emergentes que já estão causando perdas em produtividade na cultura, ainda que essa perda não esteja sendo quantificada de maneira correta (NASERI; HEMMATI, 2017).

Assim como ocorre com as perdas causadas por nematoides, a maioria das doenças que causa danos no sistema radicular e/ou no sistema vascular das plantas irá ocasionar sintomas que muitas vezes são confundidos com problemas de fertilidade, compactação, etc. Em função disso, apesar de alguns talhões apresentarem redução da produtividade, na média, essa redução é minimizada. Desta forma, a falta de um diagnóstico correto do problema pode interferir nas medidas a serem adotadas.

A maneira mais eficiente de se reduzir danos em função destes patógenos é a utilização do tratamento de sementes, seja ele realizado "on farm" ou Industrial. A proteção proporcionada pelo tratamento de sementes com fungicidas é relativamente curta, em torno de 12 a 14 dias. Nesse sentido, não se deve depositar toda a responsabilidade de proteção inicial sobre os fungicidas, e sim na adoção de estratégias que possam contribuir para o estabelecimento inicial satisfatório.

Além dos problemas iniciais em função da baixa qualidade sanitária e fisiológica das sementes, é necessário considerar a semente contaminada como inóculo inicial para manchas foliares e antracnose, principalmente. O início cada vez mais precoce do surgimento de manchas na lavoura, causadas por patógenos necrotróficos, tem como um dos pontos fundamentais a transmissibilidade pela semente contaminada. Assim, o sucesso de todo o programa de aplicações a ser realizado na área foliar está condicionado a um tratamento de semente assertivo, que reduzirá a quantidade de inóculo inicial a ser transmitida para a planta.

Por fim, é importante reforçar que a semente é o insumo mais importante da lavoura e, é nela que estarão contidas características genéticas determinantes para resistência às doenças, pragas, produtividade etc. Além disso, a construção do manejo eficiente de doenças inicia na escolha do tratamento de sementes adequado para redução do inóculo inicial, muitas vezes, introduzido na lavoura pela semente contaminada, assim como, a

obtenção de plântulas vigorosas, com desenvolvimento radicular satisfatório, que irá propiciar um arranque inicial melhor, além que "diluir" o dano em função de patógenos radiculares e nematoides.

Indutores de resistência - Uma nova ferramenta no manejo de doenças da soja

Ao entrar em contato com a superfície das plantas, os patógenos podem liberar substâncias como enzimas, toxinas e supressores de defesa. Por sua vez, as plantas possuem a capacidade de reconhecer estas substâncias, através de receptores presentes nas membranas plasmáticas de suas células, localizadas logo abaixo da epiderme. Caso ocorra o reconhecimento do patógeno por parte da planta, uma cascata de sinalização ativa genes de defesa no núcleo, induzindo a produção de proteínas de defesa e resultando em reação de resistência. Se não houver o reconhecimento do patógeno, a reação da planta será de suscetibilidade (JONES & DANGL, 2006; BENT & MACKEY, 2007).

Para que a resistência genética das plantas às doenças seja expressa de forma eficiente, a planta precisa estar em equilíbrio fisiológico. Os elementos mineirais são importantes para manutenção deste equilíbrio e podem atuar de forma direta ou indireta sobre os mecanismos de defesa das plantas como ativadores, inibidores ou reguladores do metabolismo celular. Alguns dos mecanismos de defesa das plantas são pré-existent e podem atuar como barreiras físicas (espessura da parede das células, presença de cera na cutícula) ou químicas (produção de compostos fenólicos, alcalóides). Outros mecanismos de defesa são induzidos e permanecem latentes até que sejam ativados pelo contato com um agente indutor. Os indutores de resistência são agentes (bióticos ou abióticos) capazes de ativar respostas de defesa localizadas ou sistêmicas. Nestes casos, a resistência é dita induzida. Estes mecanismos também podem ser físicos (formação de papilas, lignificação) ou químicos (produção de fitoalexinas, proteínas relaciona-

das à patogênese e espécies reativas de oxigênio) (ZAMBOLIN et al., 2012). Na resistência induzida, através da aplicação de um indutor de resistência (que neste caso, pode ser um componente microbiano, um nutriente mineral ou um precursor de ácido salicílico ou jasmônico) a planta desencadeia sinais bioquímicos para o interior de suas células, que ativam genes envolvidos na resistência. Como resultado, há um aumento na capacidade de defesa das plantas, o que impede ou reduz a colonização por patógenos.

Nos últimos anos o interesse por alternativas de controle mais sustentáveis vêm crescendo. A menor eficiência de fungicidas para controle de doenças de soja faz com que o uso de indutores de resistência seja uma ferramenta promissora de controle a ser utilizada em conjunto com o controle químico. Diversos trabalhos estão sendo desenvolvidos para avaliar a associação de agentes indutores de resistência com o uso de fungicidas, que vão desde o Acibenzolar-S-Metil (ASM) até o uso de fertilizantes foliares, principalmente fosfitos. Estes podem ativar a Resistência Sistêmica Adquirida (SAR) em plantas de soja. Tais ativações apresentam especificidade de ação, bem como atuam em mecanismos distintos de defesa (CARVALHO et al., 2013; NEVES & BLUM, 2014; BRUZAMARELLO et al., 2018).

Alguns trabalhos relatam o efeito benéfico do silício, por exemplo, em reduzir a severidade de ferrugem da soja, possivelmente em função do aumento na atividade de glucanases, quitinases e compostos fenólicos (Cruz et al., 2012 e 2013, Rodrigues et al., 2009). O efeito de fosfitos também vem sendo bastante estudado, principalmente para controle de doenças de final de ciclo e ferrugem.

Trabalhos realizados na Cooperativa Central Gaúcha, CCGL, têm demonstrado efeito significativo do uso de indutores de resistência e/ou fertilizantes foliares no controle da ferrugem asiática da soja. Ao se avaliar o efeito de diferentes produtos em associação aos fungicidas, foram obtidos ganhos em produtividade que va-

riaram de 2 sacos ha^{-1} a até 14 sacos ha^{-1} , bem como, incrementos significativos no controle da ferrugem da soja, variando de 12 a até 73% em relação ao uso do fungicida sistêmico isolado (Wesp-Guterres, 2018). Nas situações em que se combinou o uso de fungicidas sistêmicos, fungicidas multissítios e indutores de resistência e/ou fertilizantes foliares, os incrementos em controle de ferrugem foram de 100%, alcançando controles de ferrugem superiores a 83%.

A utilização de fertilizantes foliares pode influenciar de forma direta o controle de doenças em plantas, em virtude da presença de elementos minerais importantes nos processos de sinalização e ativação de respostas de defesa. Dependendo da fonte e concentração dos minerais, estes podem apresentar ainda, potencial fungicida ou bactericida. A ação indireta também ocorre, já que plantas bem nutridas respondem melhor aos estresses ambientais, sejam eles bióticos ou abióticos. Fungicidas sítio-específicos ou multisítios possuem efeito direto sobre os patógenos. Indutores de resistência e fertilizantes foliares possuem efeito sobre as plantas, podendo torná-las mais resistentes em algumas situações. Desta forma, a utilização de fertilizantes foliares e indutores de resistência não substitui a utilização de fungicidas, mas pode ser uma estratégia na busca de controles mais eficientes de doenças, de forma sustentável, resultando em efeitos aditivos e sinérgicos aos proporcionados pelos fungicidas (Wesp-Guterres, 2018).

Considerando o momento de aplicação de indutores de resistência, o início na fase vegetativa é o mais indicado. Nesta fase, há melhor balanço energético e a planta atua como fonte, com energia disponível para formação de folhas. A partir do reprodutivo o foco será a produção. Nesta fase, é importante que as defesas da planta já tenham sido ativadas de forma eficiente.

Em anos de baixa pressão de doenças ou em solos desequilibrados nutricionalmente, a utilização de indutores de resistência deve ser bem avaliada. Isto ocorre porque o processo de indução, embora seja natural,

requer energia da planta. Neste sentido, o deslocamento de energia que seria utilizada para produção sendo focado em defesas, pode não resultar em resultados que agreguem em produtividade. Em suma, na utilização de indutores de resistência para o manejo de doenças, deve-se considerar o estado nutricional da planta. Ainda, estes não substituem o uso de fungicidas multissítio protetores e devem ser aplicados cedo no ciclo das culturas.

Embora possa haver diferença entre cultivares, espécies e substâncias indutoras, por induzir resistência sistêmica, os indutores podem auxiliar na proteção da planta como um todo (principalmente baixeiro, onde as doenças se iniciam), auxiliar em doenças de difícil controle, onde fungicidas nem sempre tem ação eficiente e minimizar os problemas de resistência, quando em associação aos fungicidas multissítios.

Referências

- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA. Disponível em: < http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 03 ago. 2018.
- ALMASIA, N. I.; BAZZINI, A. A.; HOPP, H. E.; VAZQUEZ-ROVERE, C. A superexpressão do gene snakin-1 aumenta a resistência a *Rhizoctonia solani* e *Erwinia carotovora* em plantas de batata transgênicas. *Molecular Plant Pathology*, v. 9, n. 9, p. 329-338, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00469.x>
- ALMEIDA AMR, PIUGA FF, MARIN SRR, BINNECK E, SARTORI F, COSTAMILAN LM, TEIXEIRA MRO, LOPES M (2005) Pathogenicity, molecular characterization, and cercosporin content of Brazilian isolates of *Cercospora kikuchii*. *Fitopatologia Brasileira* 30:594-602.
- ALMEIDA, A.M.R. et al. Doenças da soja (*Glycine max*). In: KIMATI, H. et al. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. 4. ed. São Paulo-SP: Agronômica Ceres, 2005. p. 570- 588.
- B. GONZÁLEZ et al. ISTA-PDC Symp., 2nd. 1996

- BEDENDO, I.P. et al. Damping-off. In: AMORIM, L. et al. Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos, Volume 1. 2011. p. 435-436.
- BEN, C.A.V. Avaliação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) quanto à tolerância à *Rhizoctonia solani*. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- BENT, A. F.; MACKEY, D. 2007. Elicitors, Effectors, and R Genes: The New Paradigm and a Lifetime Supply of Questions. Annu. Rev. Phytopathol., Palo Alto, v. 45, p. 399–436.
- BONATO, E. R. (Ed.). Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 253 p.
- BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; AUSTIN, C.N.; STONE, C.L.; FREDERICK, R.D.; HARTMAN, G.L.; MILES, M.R. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. *Plant Disease*, v.90, p.708-716, 2006.
- BRUZAMARELLO, J. FRANCESCHI, V.T.; DALACOSTA, N.L.; GONÇALVES, S.M.M.; REIS, E. 2018. Potencial de fosfitos na indução da resistência em plantas de soja. *Cultura Agronômica*, v.27, n.3, p.263-273.
- CARVALHO, B. O.; OLIVEIRA, J. A.; CARVALHO, E. R.; ANDRADE, V.; FERREIRA, T. F.; REIS, L.V. 2013. Action of defense activator and foliar fungicide on the control of Asiatic rust and on yield and quality of soybean seeds. *Journal of Seed Science*, v.35, n.2, p.198-206.
- CHIARAPPA, L. Possibility of supervised plant disease control in pest management systems. *FAO Plant Prot. Bull.* 22:65–68. 1974.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6 - Safra 2018/19, n.8 - oitavo levantamento, Brasília, p. 1-132. maio, 2019.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de safra. v. 6 - SAFRA 2018/19, nº. 7-, ABRIL, 2019.
- CRUZ, M.F.; RODRIGUES, F.A.; POLANCO, L.R.; CURVELO, C.R.S.; NASCIMENTO, K.J.T.N.; MOREIRA, M.A.

2013. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. *Bragantia*, v. 72, n. 2, p.162-172.
- CRUZ, M.F.; SILVA, L.F. RODRIGUES, F.A.; ARAÚJO, J.M.; BARROS, E.G. 2012. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.1, p.142-145.
- DAUB, M.E.. Cercosporin, a photosensitizing toxin from *Cercospora* species. *Phytopathology*, v.72, p.370-374, 1982.
- DAUB, M.E.; EHRENSHAFT, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: contributuín to plant disease and fundamental biology. *Annual Review of Phytopahtology*, v.38, p.461-490, 2000.
- DEUNER, C.C.; WINCK, M. Aplicação certa. *Revista Cultivar Grandes Culturas*, v. 204, p. 6-10. 2016 (Enquete técnica).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil, 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013.IBGE. Indicadores IBGE: estimativa da produção agrícola, abril de 2017.
- EMBRAPA. Manual de identificação de doenças de soja. Documentos 256. 5ª ed. Londrina, PR, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/ferrugem/vaziosanitariocalendarizacao-semeadura>>. Acesso em: 03 ago. 2018.
- FENILLE, R. C. Caracterização citomorfológica, cultural, molecular e patogênica de *Rhizoctonia solani* Kühn associado à soja no Brasil, 2001. 138f. Tese (Doutorado em Concentração em Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- GEIER, P.W. Management of insect pests. *Annual Review Entomology* 11:471-490, 1966.
- GODOY, C. V. et al., 2014. Doenças da Soja. Informe Técnico. Sociedade Brasileira de Fitopatologia (SBF).

- GODOY, C.V. et al. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 12 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 129).
- HARTMAN, G.L.; RUPE, J.C.; SIKORA, E.J. DOMIER, L.L.; STEFFEY, K.L.; DAVIS, J.A. Compendium of Soybean Diseases and Pests, Fifth Edition. APS Press. 2015.
- HENNING, A. A.; ALMEIDA, Á. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P. Manual de identificação de doenças de soja. Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E). (2005).
- ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. Nucleus, v. 10, n. 3, 2013.
- JACCOUD FILHO, D.S.; HENNENBERG, L.; GRABICOSKI, E.M.G. (eds.). Mofo branco - *Sclerotinia sclerotiorum*. Ponta Grossa: Todapalavra, 2017. p. 520p.
- JONES, J. D. G.; DANGL, J. L. The plant immune system. Nature, v. 444, p. 324-329, 2006.
- JONES, R. K., BELMAR, S. B. Characterization and pathogenicity of *Rhizoctonia* ssp. isolated from rice, soybean and other crops grown in relation with rice in Texas. Plant Disease, St. Paul, v. 73, p. 1004-1010, 1989.
- JULIATTI, F.C. et al. Manejo integrado de doenças na cultura da soja. Uberlândia: EDUFU, 2004. 327p.
- KLAPPACH, K. *Informação sobre carboxamidas em ferrugem da soja*. Frac International, SDHI – Working group. Informativo 01/2017, 2017. 3 p.
- KLOSOWSKI, A. C; DE MIO, L. L. M.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. Pest Manager Science. v. 72, n. 6, p. 1211-1215, 2016.
- LEROUX, P.; WALKER, A-S. Multiple mechanisms account for resistance to sterol 14 -demethylation inhibitors in field isolated of *Mycosphaerella graminicola*. Pest Management Science. v. 67, n. 1, p. 44-59. 2011.

- MACHADO, R.F. Desempenho de aveia – branca (*Avena sativa* L.) em função do vigor de sementes e população de plantas. 2002. 46f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.
- MEYER, M. C. Caracterização de *Rhizoctonia solani* Kuhn, agente causal da mela da soja (*Glicine max* (L.) Merrill), seleção de genótipos e controle químico. 125f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V. et al. 2018. Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 6p.
- MICHEREFF, S.J.; ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M.. Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2005.
- NAS. *Insect pest management and control*. Publ. 1695. Washington. National Academy of Sciences. 1969
- NASERI, B.; HEMMATI, R. Bean root rot management: Recommendations based on an integrated approach for plant disease control. *Rhizosphere*, v. 4, p. 48-53, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.07.001>
- NEVES, J. S.; BLUM, L. E. B. 2014. Influência de fungicidas e fosfito de potássio no controle da ferrugem asiática e na produtividade da soja. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 27, n. 1, p.75-82.
- NIERO, A. R. et al. Eficácia dos fungicidas no controle de doenças de final de ciclo (DFC) da soja. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, v. 5, n. 1, 2017.
- REIS, E.M.; REIS, A.C.; CARMONA, M.A. *Manual de fungicidas: guia para o controle químico racional de doenças de plantas*. Passo Fundo: Berthier, 2016.
- RODRIGUES, F.A.; DUARTE, H.S.S.; DOMICIANO, G.P.; SOUZA, C.A.; KORNDORFER, G.H.; ZAMBOLIM, L. Fo-

- liar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. *Australasian Plant Pathology*, v. 38, p. 366-372, 2009.
- SARTO, S. A. et al. Incidência das doenças na cultura da soja em função da aplicação de fungicidas em diferentes épocas. *Cultivando o Saber, Cascavel*, v. 6, n. 3, p. 182-194, 2013.
- SCHMITZ, H.K.; MEDEIROS, A.C.; CRAIG, I.R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-outside-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. *Pest Management Science*, v. 7, p. 378-88, 2014.
- SINCLAIR, J. B. (Ed). *Compendium of soybean diseases*. 2.ed. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. 104 p.
- SOARES APG, GUILLIN EA, BORGES LL, SILVA ACTd, ALMEIDA ÁMRd, GRIJALBA PE, et al. (2015). More *Cercospora* Species Infect Soybeans across the Americas than Meets the Eye. *PLoS ONE* 10(8): e0133495. doi:10.1371/journal.pone.0133495.
- TSCHURTSCHENTHALER, N. N.; VIEIRA E. S. N.; NORA T. D.; SCHUSTER I. Variabilidade genética de *Phakopsora pachyrhizi* avaliada por meio de marcadores microsatélites. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.2, p.181-186, fev. 2012.
- UPCHURCH, R.G.; WALKER, D.C.; ROLLINS, J.A.; EHRENSHAFT, M.; DAUB, M.E.. Mutants of *Cercospora kikuchii* in cercosporin synthesis and pathogenicity. *Applied and Environmental Microbiology*, v.57, p.2940-2945, 1991.
- VISINTIN, G.; PASTRE, G.; GHISSI, V.C.; DEUNER, C.C. Adição de fungicidas protetores para o controle de ferrugem asiática da soja. *In: 48º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2015, São Pedro. 48º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2015.*
- WEILAND, J. E. Influence of the isolation method on the recovery of pythium species from forest nursery soil in oregon and Washington. *Plant Disease*, v. 95, n.5,

- p. 547- 553, 2011. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-10-0242>
- WESP-GUTERRES, 2018. Morte de plântulas de soja. Um problema, várias causas. Boletim Técnico CCGL Pesquisa e Tecnologia, n. 61. Cruz Alta, RS.
- WESP-GUTERRES, 2018. Morte de plântulas de soja. Um problema, várias causas. Boletim Técnico CCGL Pesquisa e Tecnologia, n. 61. Cruz Alta, RS.
- WESP-GUTERRES, C. Alerta CCGL Pesquisa e Tecnologia Importância da manutenção de intervalos de aplicação de fungicidas em soja. Janeiro de 2020. Cruz Alta, RS.
- WESP-GUTERRES, C. Alerta CCGL Pesquisa e Tecnologia. Manejo de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Fevereiro de 2019. Cruz Alta, RS.
- WESP-GUTERRES. 2018. Indutores de resistência - Uma nova abordagem no controle de doenças em soja. Boletim Técnico, n. 60. CCGL. ISSN 2317-7934, Cruz Alta, RS



ASPECTOS E INOVAÇÕES NO MANEJO DE NEMATOIDES DE IMPORTÂNCIA NA CULTURA DA SOJA

Julio Carlos Pereira da Silva¹ e Jansen Rodrigo Pereira Santos¹

¹ Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): julio.c.silva@ufsm.br, jansen.santos@ufsm.br

Introdução

Ao longo dos anos, ocorreu um aumento constante nos problemas causados por fitonematoides na cultura da soja, provavelmente devido ao uso intensivo de terras agrícolas, com culturas suscetíveis, que acabam por aumentar as populações de nematoides nos campos de produção. Sem sombra de dúvidas, os nematoides parasitas de plantas são um dos principais fatores limitantes na produção da soja ao redor do mundo, uma vez que são estimadas perdas anuais de 75 bilhões de dólares e perdas de produtividade de 10-15% (LIMA et al. 2007), embora as perdas possam ser bem variáveis. Notadamente, as perdas de produtividade causadas por nematoide têm aumentado à medida que a cultura da soja se expande principalmente em solos arenosos e de baixa fertilidade (KATH et al. 2017).

Mais de 100 espécies de nematoides, compreendendo 50 gêneros, foram relatadas em associação com a soja. No Brasil, as espécies que mais têm causado danos à soja são os nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita*), o nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*), o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e o nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*). Para se ter ideia do problema desses nematoides na cultura da soja, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), na Portaria nº 5, de 21 de agosto de 2015, inseriu quatro deles (*M. javanica*, *M. incognita*, *H. glycines* e *P. brachyurus*) na lista de pragas consideradas de maior risco fitossanitário para o agronegócio brasileiro.

Destes, os nematoides das galhas e o nematoide do cisto da soja são os que mais têm preocupado os agricultores ao longo dos anos, devido aos prejuízos que estes têm causado na cultura da soja. Por outro lado, mudanças envolvendo o uso de novas alternativas de plantas nos sistemas de rotação, visando o controle de espécies de *Meloidogyne* e *H. glycines*, somado ao aumento de áreas de plantio direto, afetaram as populações de *P. brachyurus* fazendo com que esse nematoide se tornasse um dos principais problemas na sojicultura brasileira.

Assim como aconteceu com o nematoide das lesões radiculares pelas alterações no sistema de cultivo que aumentaram a densidade populacional de outras espécies de nematoides (*Tubixaba tuxaua*, *Aphelenchoides besseyi*, *Helicotylenchus dihystera* e *Scutellonema brachyurus*) com potencial de dano na cultura da soja (FURLANETTO et al. 2010, MEYER et al. 2017; MACHADO et al. 2019).

Medidas de manejo a serem adotadas contra os principais fitonematoides da cultura da soja

O principal aspecto a ser considerado antes de se planejar o manejo de qualquer problema fitossanitário é o valor da perda econômica gerada pelo problema em relação ao custo da produção total. Para o manejo adequado de nematoides deve-se observar a situação econômica do produtor antes de se definir as táticas a serem aplicadas. Grandes produtores terão maiores possibilidades de alto investimento no controle, até mesmo pela exigência de alta produtividade. Pequenos produtores, com maiores limitações de recursos financeiros e tecnológicos se veem impedidos de empregar muitas táticas, seja por falta de recursos financeiros ou por desconhecimento. Na cultura da soja, o balanço custo/benefício das táticas de controle aplicadas acaba justificando a integração de várias táticas para obtenção de maior eficiência na redução de população de fitonematoides. Assim, podem-se destacar quatro bases no manejo de

fitonematoídes no campo: prevenção da entrada do fitonematoíde na área, integração de táticas viáveis para redução populacional, situação econômica do produto a ser cultivado e a condição do seu produtor (SILVA et al., 2014). No Brasil, as táticas de manejo mais eficientes e econômicas para redução populacional de fitonematoídes na soja se concentram em táticas de manejo cultural, resistência genética, controle químico e biológico. Para grandes produtores com maiores investimentos na lavoura, as táticas de controle químico e biológico acabam sendo as mais utilizadas em áreas altamente infestadas. No entanto, nos últimos anos, a alta infestação e o surgimento de novas raças e populações de certos nematoides têm levado grandes produtores de soja a integrarem táticas culturais mesmo em maiores proporções (Figura 1).

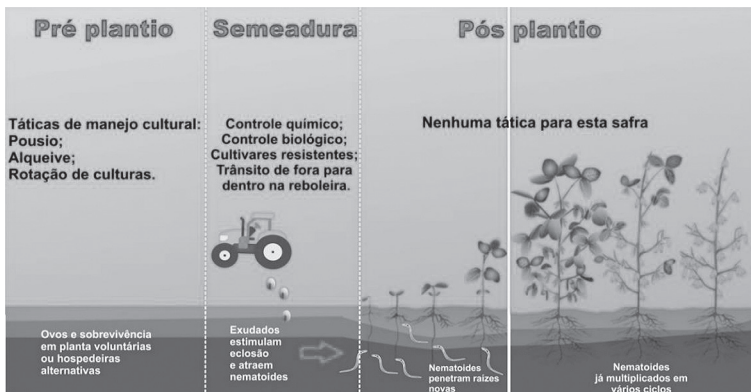


Figura 1. Táticas de manejo contra fitonematoídes e seus momentos de aplicação dentro do ciclo da soja.

Manejo cultural por rotação de culturas e cobertura vegetal

Várias táticas culturais podem ser utilizadas no manejo integrado de fitonematoídes. A escolha das táticas de manejo cultural na soja depende do conhecimento da espécie do nematoíde e do nível populacional na área. Este conhecimento irá ditar quais medidas e quanto tempo serão necessárias. Para isso as táticas adotadas

levam em conta atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A aplicação de qualquer método envolve custos financeiros e ambientais resultando em alterações no solo e, como consequência, em todo o sistema de produção. Por exemplo, deve-se evitar semeadura antecipada nas primeiras chuvas em áreas de soja altamente infestadas com fitonematoides, especialmente em solos arenosos. Neste caso, semeaduras mais tardias com cultivares precoce, após as primeiras chuvas, reduzem os danos iniciais e o número de ciclos dos nematoides é menor, minimizando os danos à cultura.

Uma das táticas culturais mais aplicadas para redução populacional de nematoides em soja é o plantio de culturas com não hospedeiras, com baixa "hospedabilidade" ou antagonistas aos nematoides. A eficiência dessas táticas está diretamente ligada à escolha das culturas para consórcio, rotação, sucessão ou incorporação no solo. Ao se escolher as culturas a serem incluídas no sistema, três variáveis devem ser observadas, sendo elas: espécies de fitonematoides presentes na área; densidade populacional do fitonematoide de importância; suscetibilidade das espécies/cultivares aos nematoides. Assim, o manejo cultural de nematoides por rotação e plantio direto se inicia com o conhecimento da espécie de nematoide que ocorre no local e de como ele interage com a cultura a se rotacionar (INOMOTO & ASMUS, 2009). Quanto menor a hospedabilidade da planta (boa, má ou não hospedeira) ao nematoide, mais indicada é a espécie vegetal como sucessora. Contudo, a inclusão de culturas não hospedeiras na área, mesmo por alguns anos, não ocasiona erradicação total do nematoide, mas sim a redução populacional no solo.

A rotação de culturas é uma das principais táticas aplicadas no manejo do nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*), já que as principais culturas utilizadas para a formação de palhada no plantio direto (milheto, braquiárias, sorgo forrageiro, capim pé-de-galinha, nabo forrageiro, aveia preta, aveia branca, girassol, mi-

lho, sorgo) não são hospedeiras do nematoide (INOMOTO & ASMUS, 2009). O fato de *H. glycines* completar seu ciclo de vida em um pequeno número de plantas cultivadas (feijão comum, feijão vagem, ervilhaca comum, ervilhaca forrageira, grão de bico), sendo que nem todas são boas hospedeiras, permite ao produtor aplicar eficientemente a rotação de culturas para o seu manejo (VALLE et al., 1997). Além disso, a palhada de cobertura dificulta a disseminação dos cistos, em função da redução do movimento de máquinas e solo. No Brasil os ovos no interior do cisto podem sobreviver por alguns anos no campo e dependendo do nível populacional no solo, a rotação de cultura por uma safra não é suficiente para reduzir o nematoide para a safra seguinte. Com um único cultivo de soja suscetível, a população do *H. glycines* volta a crescer, sendo necessário retornar à rotação com espécies não hospedeiras ou cultivares de soja resistente na safra seguinte. As culturas mais utilizadas na rotação e sucessão visando o manejo do nematoide do cisto são: milho, sorgo, arroz, algodão, mamona, aveia, trigo, girassol e *Crotalaria spectabilis*. Outra medida que deve ser adotada, em áreas infestadas com *H. glycines*, é a eliminação da soja voluntária “guaxa” e de espécies hospedeiras, durante a entressafra, pois elas mantêm o inóculo para a próxima safra. Apesar de ser recomendando para outras espécies de nematoides da soja, a eliminação de guaxas funciona melhor para *H. glycines* justamente por apresentar poucas hospedeiras alternativas, o que diminui a chance de sobrevivência em outras espécies vegetais.

As espécies de nematoide das galhas do gênero *Meloidogyne* parasitas da soja apresentam uma ampla gama de hospedeiros e torna a rotação mais complexa para o controle do nematoide com necessidade de maior cautela na escolha da cultura sucessora. O manejo de *M. incognita* tem sido feito pelo uso de cultivares resistentes intercaladas nos anos agrícolas com cultivares mais susceptíveis. No caso da rotação com o milho, uma

das mais usadas para controle de patógenos de solo, a situação é dificultada, já que no Brasil não há cultivares ou híbridos comerciais com níveis elevados de resistência a *M. incognita*. No entanto, para *M. javanica* existem opções de cultivares resistentes de milho, milheto e sorgo (CARNEIRO et al., 2007; FREIRE et al., 2017). Como existe variação intraespecífica nas culturas com relação à capacidade de multiplicar as diferentes espécies de *Meloidogyne* spp., o ideal é realizar um planejamento conciliando consorciação, rotação e sucessão de culturas de acordo com a reação de cultivares e híbridos diante ao nematoide presente na área.

Outro grande desafio para a cultura da soja no manejo cultural por rotação e plantio direto é o nematoide das lesões *P. brachyurus*. O monocultivo de cultivares suscetíveis nas regiões centro-oeste e nordeste do país, combinado com a semeadura na entressafra de milho ou algodão levou a um aumento populacional de novas populações do nematoide das lesões nos últimos anos (DIAS et al., 2012). O plantio direto pode favorecer o aumento de *P. brachyurus* no solo, por dois motivos. Outras culturas de importância agrícola como milho, algodão, cana-de-açúcar, amendoim, feijão, feijão-caupi, mandioca e arroz são boas hospedeiras de *P. brachyurus*, assim como culturas utilizadas para formação de palhada, como as braquiárias, sorgo forrageiro, capim pé-de-galinha, aveia branca, sorgo graminífero e, os adubos verdes *C. juncea* e mucunas (INOMOTO & ASMUS, 2009; MACHADO et al., 2007). As espécies de crotalaria *C. spectabilis* e *C. breviflora* não são hospedeiras de *P. brachyurus* e podem ser incorporadas no sistema para o manejo desse nematoide. Outras opções de más hospedeiras seriam milheto, nabo forrageiro, e aveia preta, utilizadas para formar palhada no plantio direto em várias regiões do Brasil.

O tempo de rotação é outro fator importante no planejamento para o controle dos nematoides em soja. O nível populacional, o número de hospedeiras alternativas e presença de estruturas de resistência são fatores

a serem levados em conta quanto a melhor escolha para o tempo de rotação. O nematoide dos cistos apresenta menor gama de hospedeiros, mas apresenta os cistos como estruturas de resistência. Já os nematoides das galhas e das lesões radiculares apresentam alta gama de hospedeiros e podem ter os ovos como estrutura de sobrevivência por vários meses. Assim, em situação de alto nível populacional, o ideal realizar a rotação e plantio direto por no mínimo de três anos com culturas não hospedeiras ou más hospedeiras, sempre monitorando a área por análises do solo em laboratórios de Nematologia. Depois de alcançar nível populacional reduzido o suficiente para o cultivo da soja (< 50 espécimes por 100 g de solo), o ideal é ainda utilizar cultivares com níveis mais elevados de resistência na primeira safra pós-rotação.

Controle químico e biológico

Apesar de várias outras táticas de manejo mostrarem eficiência na redução populacional de fitonematoides, o uso de um produto com efeito imediato sempre será almejado pelos produtores e pela indústria. Existe hoje uma carência de registro de nematicidas para muitas culturas devido à proibição mundial de muitos produtos considerados altamente tóxicos ao ambiente. No total, estão registrados 27 produtos nematicidas no Brasil em diferentes grupos químicos, dos quais 14 são registrados para aplicação na cultura da soja (AGROFIT, 2022). A maioria dos princípios químicos registrados para soja geralmente atuam por contato ou ingestão, mas muitos deles apresentam sistemicidade e podem ser absorvidos e translocados pela planta. Os maiores grupos de nematicidas no Brasil sempre foram os organofosforados e carbamatos. No entanto, nos últimos anos devido à restrição de produtos tóxicos, houve uma mudança no padrão de registros. Em 2016 os organofosforados chegavam a 47% do total de nematicidas registrados, enquanto os carbamatos representavam 24%. Hoje os organofosforados e carbamatos juntos representam cerca de 30% dos nematicidas registrados (AGROFIT, 2022).

Dessa maneira, novos princípios eficazes contra nematoides vêm crescendo no mercado. Os maiores números de nematicidas registrados para a cultura da soja encontram-se nos grupos químicos da abamectina e fluensulfona (Tabela 1). A abamectina é um antihelmintico e inseticida indicada principalmente para tratamento de sementes ou propágulos. Também têm demonstrado boa eficácia em combinação com outros ingredientes ativos na proteção de sementes de soja no campo. Já os nematicidas do grupo das sulfonas apresentam efeito de contato e são considerados menos tóxicos aos organismos não alvos comparados a outros disponíveis. Outro princípio ativo em crescimento no controle de nematoides da soja no Brasil e no mundo é o fluopyram, um SDHI (fungicida inibidor respiratório) muito utilizado contra fungos fitopatogênicos e tem mostrado um alto nível de eficácia contra fitonematoides. Sementes tratadas com fluopyram apresentaram redução na população de vários nematoides incluindo o *P. brachyurus*, além de promover maior aumento da produtividade em algumas culturas de importância econômica como a soja.

Tabela 1. Nematicidas químicos e biológicos no Brasil (AGROFIT, 2022).

Nome comercial*	Princípio ativo	Companhia
Abamectin Nortox		Nortox
Augory		Syngenta
Avicta 500/Pro	Abamectina (avermectina)	Syngenta
Banter		UPL
Batent		UPL
Mantis		Cropchem
Vertimec 84		Syngenta
Rugby 100/200	Organofosforado	FMC
Blindado		Adama
Mantis 400	Fluensulfona	Cropchem
Nimitz EC/TS		Adama
Verango Prime		Bayer
Ilevo	Fluopyram	Basf

* Não estão inclusos aqueles em fase de registro ou com registro temporário e produtos a base de extratos vegetais. Barras separam diferentes formulações do produto.

Devido aos efeitos nocivos ao ambiente de muitos nematicidas químicos, os bionematicidas acabam chamando a atenção de empresas e produtores. Composto por organismos ou derivados biológicos, os bionematicidas mostram resultados mais econômicos e sustentáveis no controle de patógenos de solo na cultura da soja. O uso de bionematicidas representa cerca de 50 % do uso de biológicos registrado para doenças de plantas no Brasil. O crescimento no número bionematicidas registrados acompanhou o crescimento de produtos biológicos contra outros fitopatógenos devido ao sucesso no campo, alcançando o segundo lugar entre os registrados contra fitopatógenos. Atualmente existem 46 registros de bionematicidas no Brasil (Figura 2). Todos eles apresentam potencial de uso na cultura da soja, pois seus princípios biológicos são testados e registrados contra nematoide alvo independente da cultura (Tabela 2). Esse número representa quase o dobro de nematicidas químicos registrado para da soja, atualmente. Produtos a base de fungos parasitas de ovos (*Purpureocillium*, *Pochonia* e *Trichoderma*) e bactérias do gênero *Bacillus* estão se mostrando como as melhores armas no manejo de fitonematoides na soja nas últimas décadas. Os fungos parasitas de ovos crescem ao redor da raiz em desenvolvimento e rapidamente colonizam ovos mais distantes do sistema radicular. Além disso, muitos formam estruturas de resistência que os auxiliam a sobreviver por meses no solo. A actinomiceto *Pasteuria nishizawai* é um parasita exclusivo do nematoide do cisto da soja e apresenta alto potencial para uso no campo. No entanto, o posicionamento de aplicação e manejo em safras futuras do actinomiceto deve ser levado em conta para uma redução populacional ideal. Sendo um parasita obrigatório do juvenil, a *P. nishizawai* precisa alcançar o nematoide no solo para infectá-lo e se propagar para outros nematoides. Assim um solo mais arenoso e com melhor infiltração de água apresenta melhores chances

de resultados positivos. Por esses motivos os bionematicidas a base de fungos e bactérias, acabam sendo comercializados pelas empresas juntamente com o manejo no campo como um pacote, ao invés da venda exclusiva do produto. Outros microrganismos encontrados em solos supressivos a nematoides são estudados de várias formas e apresentam alto potencial para o controle de nematoides isoladamente ou em diferentes combinações (SILVA et al, 2021). Além dos microrganismos, a prospecção de moléculas nematicidas em espécies vegetais, traz novas oportunidades para registro. Como exemplo, o Dazomete derivado de isotiocianatos encontrados em Brassicas é registrado no Brasil para controle de fitonematoides. A busca por novos compostos em plantas pode paralelamente mostrar o efeito do material vegetal possível de ser utilizado na incorporação no solo ou como extratos vegetais (SILVA et al., 2018). Esses extratos ou derivados vegetais podem ser registrado como nematicidas como o extrato de alho registrado como defensivo biológico, mas não incluído na classe dos microbiológico (Tabela 2). Dessa maneira, o número de nematicidas biológicos ultrapassa o número de químicos nos últimos anos devido à eficiência no campo e às vantagens e estímulos dos registros frente aos órgãos do governo. O crescimento dos bionematicidas tende a continuar, apresentando cada vez mais novas tecnologias de uso, diferentes mecanismos de ação e maior diversidade de aplicação aos produtores. O sucesso e a eficiência dos bionematicidas fazem com que estes produtos representem grande parte dos registros de biológicos no Brasil, ultrapassando muitas vezes o registro de bioprodutos para controle de outros fitopatógenos (Figura 2).

Tabela 2. Nematicidas biológicos no Brasil (AGROFIT, 2022).

Nome comercial*	Princípio ativo	Companhia	
AmyloTrop		CONDEAGRO	
Aveo		Sumitomo	
Boneville		Koppert	
Chevelle		Koppert	
NemaControl/Super	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Simbiose	
No-Nema		Vittia	
Inlayon Eco		Simbiose	
Loyalty Bio		Sumitomo	
Lumialza		Sumitomo	
Trunemco		Nufarm	
Veraneio		Koppert	
Oleaje Prime			Basf
Andril Prime		<i>Bacillus firmus</i>	Basf
Votivo/Prime			Bayer
Onix/OG	<i>Bacillus methilotrophicus</i>	Lallemand	
Baci-Attack		Vittia	
Baci-Guard		Vittia	
Biobaci		Vittia	
Furatrop		Total Biotec.	
Nemaster	<i>Bacillus subtilis</i>	Total Biotec.	
Nematrop		Total Biotec.	
Rizos/OG		Lallemand	
Paladyo		Total Biotec.	
Profix		Agrivalle	
Rudder	<i>Bacillus velezensis</i>	Total Biotec	
Clariva PN/BR	<i>Pasteuria nishizawae</i>	Syngenta	
Rizotec	<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Rizoflora - Stoller	
RizoTurbo		Vittia	
Atialy; Lilatrix		Agrobiológica	
Biostat		Mitsui & Co	
Nemat		Ballagro	
NemaKill	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Maneogene	
Nettus		Ballagro	
Unique		Ballagro	
Purpureonyd FR		TZ Biotech	
MNG02-04		Nufarm	
BN40.001/19		Ballagro	
Lalnix Resist		<i>Trichoderma endophyticum</i>	Lallemand
Trianum DS/WG	<i>Trichoderma harzianum</i>	Koppert	
Trichodermil		Koppert	
Quartzo	Mistura de <i>Bacillus</i>	FMC	
Presence		FMC	
AgDommonn		Massen	
Bio Tramo	<i>Bacillus</i> spp.+ <i>Purpureocillium lilacinum</i>	Agrivalle	
Messenger		Massen	
Profix		Agrivalle	
Vigga	<i>Allium sativum</i> (extrato vegetal)	Omex	

* Não estão inclusos aqueles em fase de registro ou com registro temporário e produtos a base de extratos vegetais. Barras separam diferentes formulações do produto.

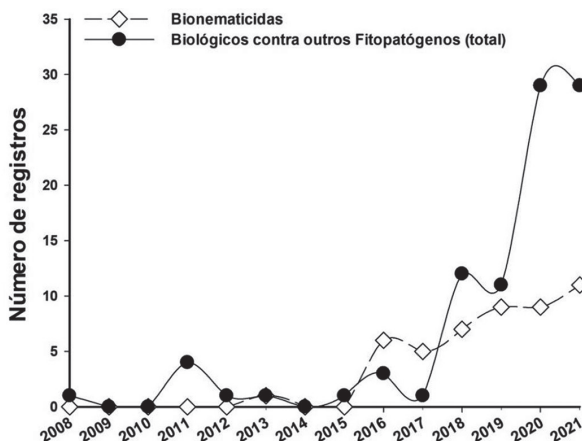


Figura 2. Crescimento de bionematicidas no Brasil em relação ao total de registros contra fitopatógenos (AGROFIT, 2022). Não estão incluídos aqueles retirados do mercado durante o período de confecção do gráfico.

Os nematoides ocorrem em reboleiras no campo de soja e por isso a aplicação na área como um todo é inviável e não sustentável. As tecnologias de precisão auxiliam no controle mais viável de fitonematoides, evitando o uso excessivo de nematicidas químicos e até mesmo biológicos. Os equipamentos de aplicação por taxa variável ou localizada auxiliam na questão econômica por reduzir a área aplicada e apresenta uma vantagem ecológica de se reduzir o uso desses produtos. Existem aplicadores no mercado que são acoplados às semeadoras e realizam a aplicação de produtos no sulco de plantio e/ou adubação de maneira precisa e controlada. Esses equipamentos apresentam sensores, controladores eletrônicos, computadores de bordo e receptores GPS. Com estas tecnologias tem-se conseguido reduções de até 80% do defensivo aplicado, mas com alta eficiência no controle (SOARES et al., 2016).

Resistência genética

A resistência genética pode ser definida como alguns fatores genéticos das plantas que irão inibir a penetração, o desenvolvimento ou a reprodução dos ne-

matoides. Esse método é um dos mais eficientes e econômicos de evitar perdas ocasionadas por nematoides, principalmente por permitir a manutenção da cultura de interesse no campo e de ser compatível com outros métodos de controle. No entanto, a obtenção de cultivares resistentes a nematoides é difícil pela escassez de fontes de resistência e também por demandarem muitos anos de pesquisa. Além disso, as cultivares resistentes têm suas recomendações restritas a determinadas espécies ou raças/tipos de nematoides e a determinadas regiões edafoclimáticas.

O uso de cultivares resistentes, normalmente, leva a um significativo ganho na produtividade quando comparado com o uso de cultivares suscetíveis, sobre as mesmas condições. Um ganho médio de produtividade de 17% já foi relatado quando cultivares de soja resistentes ao nematoide da soja foram comparadas a cultivares suscetíveis parasitadas pelo nematoide sob as mesmas condições (GARCIA et al., 2005).

Por se tratar de um método de controle tão importante no manejo de fitonematoides, o seu uso deve ser feito de forma cautelosa de modo a evitar a seleção de populações virulentas de nematoide capazes de “quebrar” a resistência. Assim sendo, cultivares resistentes devem se utilizadas em alternância com plantas/cultivares suscetíveis ou não hospedeiras com finalidade de evitar a seleção dessas populações virulentas. O cultivo sucessivo de cultivares resistentes por períodos entre 5 e 6 anos pode levar a seleção de populações virulentas do nematoide, tornando a resistência genética não mais efetiva contra os nematoides alvo (PETRILLO & ROBERTS, 2005).

Quando nos referimos a resistência genética da soja a fitonematoides, felizmente existem fontes de resistência aos nematoides, principalmente para aqueles que são parasitas sedentários dessa cultura, como as espécies de *Meloidogyne* e *H. glycines*. Poucos relatos de resistência ou tolerância têm sido encontrados para nematoides migradores como é o caso de *Pratylenchus brachyurus*.

O desenvolvimento de cultivares resistentes ao nematoide do cisto da soja, é um típico caso do uso da resistência que apesar de efetiva tem sofrido com as mudanças genéticas nas populações do nematoide devido ao uso contínuo da mesma fonte de resistência. Populações de campo do nematoide têm se adaptado para superar a resistência, como por exemplo, daquela proveniente da PI 88788, tornando-a menos efetiva em reduzir a perda de produtividade (SHANNON et al. 2004). Fatos como esse, têm levado à necessidade de desenvolver cultivares com múltiplos genes de resistência que apresentam resistência ampla.

Embora já existam um número cada vez maior de cultivares que apresentam resistência ampla, a maior parte das cultivares de soja com resistência desenvolvidas no mundo tem genes provenientes dos acessos Peking e PI 88788 (KIM et al., 2016). Dessa forma, para evitar a quebra da resistência, é recomendado uso alternado de cultivares com diferentes fontes de resistência ao nematoide do cisto da soja. Também, como já mencionado, é recomendado uso alternado entre cultivares resistentes e suscetíveis. Uma recomendação típica para esse patossistema, é o uso de uma cultivar suscetível após dois a quatro anos de cultivo com as cultivares resistentes.

Outro fato importante que não deve ser deixado de lado, é que a recomendação de cultivares resistentes ao nematoide do cisto da soja devem ser realizadas de acordo com o tipo ou a raça do nematoide, especificamente "raça" no Brasil, presente na área de cultivo em questão; e para tal o agricultor ao enviar as amostras para análise nematológica em laboratórios especializados, deve requisitar a determinação de raças para esse nematoide. De maneira geral, no Brasil, as cultivares de soja resistentes ao nematoide do cisto da soja apresentam resistência as raças 1 e 3, mas já podemos encontrar cultivares que apresentam resistência ampla a outras raças do nematoide (Tabela 3). O agricultor antes de escolher a cultivar resistente, deve ainda consultar

o técnico responsável quanto a adaptação da cultivar as condições edafoclimáticas da sua propriedade. É importante ressaltar, que essa recomendação serve na escolha não apenas de cultivares resistentes ao nematoide do cisto da soja, como para qualquer outra cultivar.

Tabela 3. Cultivares de soja com resistência a diferentes raças de *Heterodera glycines*.

Cultivares*	Raças	Cultivares	Raças
5G8015IPRO	3	NK7701 IPRO	MR 3
68168RSF IPRO	3, 6, 14, MR 9, 10 e 14+	NK8301 IPRO	MR 3
7166RSF IPRO	3 e MR 14	NK8401 IPRO	MR 3
74177RSF IPRO	3, 14, MR 6, 9, 10 e 14+	NS 6390 IPRO	3
74178RSF IPRO	3, 6, MR 10, 14 e 14+	NS 7490 RR	3
77179RSF IPRO	3, MR 9, 10, 14, 14+	NS 7497 RR	3
95Y52	3	NS 8094 RR	3 e 14
96Y90	3 e 14	NS 8393 RR	3
98Y20IPRO	1 e 3	NS8490 RR	3 e 14
98Y21IPRO	3, 6 e 14	NS8593 RR	3
98Y30	3	ST 777 IPRO	1, 3, MR 5 e 6
98Y52	1, 3 e 5	ST 804 IPRO	1, 3 e MR 6
Anta 82	3	ST 815 RR	3
AS 3797 IPRO	1 e 3	ST 820 RR	1 e 3, MR 5, 6, e 10
AS 3820 IPRO	1, 3, 6, 9 e 10	ST 860 RR	MR 3
BG4290	1, 3 e 5	Syn1561IPRO	MR 3
BG4781IPRO	3, 6 e 14	Syn1562IPRO	MR 3
BG4786	1, 3, 4 e 14	Syn1687IPRO	MR 3
BRS 5980IPRO	3, 4, 5 e 14	TMG 1180 RR	3
BRS 7380RR	3, 4, MR 6, 9, 10 e 14	TMG 1188 RR	3 e 14
BRS 7480RR	3	TMG 132 RR	1 e 3
BRS 7581RR	1, 3, 5 e 14	TMG 133 RR	1 e 3
BRS 7980	1, 3 e 5	TMG 2173 IPRO	3
CD2851IPRO	3	TMG 2181 IPRO	1, 3 e 6
CD2857RR	3	TMG 2182 IPRO	1 e 3
CZ 26B77 IPRO	1, 3, 9, 10, 14 e 14+	TMG 2185 IPRO	3
CZ 37B22 IPRO	3 e MR 14	TMG 2286 IPRO	3
CZ 47B90 IPRO	3 e MR 9, 10 e 14	TMG 2378 IPRO	1 e 3
CZ 48B32 IPRO	3 e MR 10	TMG 2379 IPRO	3 e 14
CZ 58B81 RR	3 e MR 6	TMG 2381 IPRO	1, 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14
M7198IPRO	1 e 3	TMG 2383 IPRO	1 e 3
M7739IPRO	1, 3 e MR 10	TMG 4182	1, 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14
M8372IPRO	1, 3, MR 6 e 10	TMG 4185	1, 3, 4, 6, 9, 10, 14, MR 2 e 5
NK6201 IPRO	MR 3		

* Foram consultados os portfólios de alguns dos principais obtentores de sementes que comercializam sementes de soja em 2020. MR: Moderadamente Resistente.

Em se tratando do nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.), por ser um nematoide amplamente distribuído e com vasta gama de hospedeiros, a resistência genética se destaca como um importante método para seu manejo na cultura da soja. Atualmente existem diversos genótipos descritos como resistentes ou moderadamente resistentes as espécies *M. javanica* e *M. incognita*. Apenas no Brasil, mais de 80 materiais de soja com níveis variados de resistência a esses nematoides estão disponíveis, sendo a maior parte deles descendentes de uma mesma fonte de resistência, a cultivar Bragg (MIRANDA et al. 2011). Além da cultivar Bragg, existem outras fontes de resistência que são utilizadas em programas de melhoramento, como a Hartwig, Kirby, Cordell e Leflore, que em adição a resistência a *Meloidogyne* também são resistentes a *H. glycines*.

Diferentes espécies de nematoides das galhas podem ocorrer simultaneamente em uma mesma área, dificultando ou até mesmo limitando a utilização de cultivares resistentes. Como já mencionamos anteriormente, as cultivares resistentes disponíveis têm resistência a duas das espécies do nematoide, *M. javanica* e *M. incognita* (Tabela 4). Dessa forma, no caso de misturas no campo, o conhecimento prévio da espécie de nematoide que ocorre ou prevalece é importante para a correta escolha das cultivares.

Tabela 4. Cultivares de soja com resistência ou tolerância a *Meloidogyne javanica* e *M. incognita*.

Cultivares*	<i>M. incognita</i>	<i>M. javanica</i>
5G8015IPRO	SI	R
74177RSF IPRO	S	MR
74178RSF IPRO	S	MR
96Y90	BR	BR
BG4290	S	MR
BRS 5980IPRO	SI	R
BRS 7380RR	MR	R
BRS 7480RR	MR	R
BRS 7980	R	R
BRS 8381	SI	R
BRS 8581	S	MR
CD2851IPRO	MR	S
CZ 15B70 IPRO	S	MR
CZ 26B05 IPRO	MR	S
CZ 58B28 IPRO	S	MR
DS5916IPRO	R	MR
M5892IPRO	S	MR
M7198IPRO	R	S
NK7201 IPRO	S	MR
NS 7227RR	SI	T
NS 7490 RR	SI	T
NS 7670RR	SI	T
NS 8270	SI	R
NS7337RR	SI	T
ST 815 RR	R	R
TMG 1182 RR	MR	MR
TMG 7161 RR	S	MR

* Foram consultados os portfólios de alguns dos principais obtentores de sementes que comercializam sementes de soja em 2020. SI: Sem informação; S: Suscetível; R: Resistente; MR: Moderadamente Resistente; T: Tolerante.

É importante mencionar que as cultivares resistentes não são imunes as espécies de *Meloidogyne* e perdas de produtividade podem ocorrer quando a população do nematoide está em densidade muito elevada (CARTER et al. 2004). Em casos como estes, a recomendação é que outras medidas de controle, como por exemplo a rotação de cultura, devem ser realizadas previamente a utilização da resistência genética com a finalidade de reduzir a densidade populacional do nematoide.

No caso do nematoide das lesões radiculares, por se tratar de um nematoide com hábito alimentar migratório e que não apresentam uma relação próxima com o seu hospedeiro, a obtenção de cultivares resistentes é mais dificultada. Entretanto, desde que as densidades populacionais de *P. brachyurus* nos cultivos de soja passou a aumentar, a busca por materiais resistentes tem sido incessável, porém insatisfatória. Até onde se sabe, não foram encontrados materiais resistentes a esse nematoide em acessos de soja, porém os programas de melhoramento da soja têm investido no desenvolvimento de cultivares que garantem níveis mais baixos de multiplicação do nematoide, com resistência moderada e até mesmo tolerantes (Tabela 5).

Vale ressaltar que cultivares tolerantes apesar de serem produtivas na presença de nematoides, permitem a sua multiplicação e levam ao aumento da densidade populacional do nematoide. Portanto, esse fator deve ser levado em consideração para a escolha dos cultivares.

Tabela 5. Cultivares de soja com diferentes reações a *Pratylenchus brachyurus*.

Cultivares	<i>Pratylenchus brachyurus</i>
Antia 82	MR
BRS 7380RR	BR
BRS 7980	BR
NS 8270	BR
P98C81	BR
P98Y70	T
TMG 1188RR	MR
TMG 1288 RR	MR
TMG 4182	MR

* Foram consultados os portfólios de alguns dos principais obtentores de sementes que comercializam sementes de soja em 2020. MR: Moderadamente Resistente; T: Tolerante; BR: Baixa reprodução.

Considerando a resistência de plantas contra o nematoide reniforme, fontes de resistência já foram relatadas e cultivares de soja resistentes estão disponíveis, como por exemplo, BRS 359RR, BRS360RR e BRS 299RR (EMBRAPA 2014, 2015). Em relação aos outros

nematoides com potencial de dano na cultura da soja, *Tubixaba tuxaua*, *Aphelenchoides besseyi*, *Helicotylenchus dihystera* e *Scutellonema brachyurus*, ainda não existem relatos confirmados de fontes de resistência até o momento.

Considerações finais

O manejo de fitonematoides deve ser realizado em relação ao custo de produção, espécie de ocorrência, nível populacional e nível de dano na área. Assim, a melhor opção é a utilização de táticas combinadas no manejo integrado visando a redução populacional do nematoide e de possíveis outros patógenos ou pragas. Atualmente, os nematoides do cisto, galha e lesões radiculares causam os principais problemas na cultura a nível nacional. No entanto, mudanças no sistema de produção da soja, como utilização sucessiva de cultivares suscetíveis e uso de culturas hospedeiras na entressafra, podem levar ao aumento de espécies como *Tubixaba tuxaua*, *Aphelenchoides besseyi*, *Helicotylenchus dihystera* e *Scutellonema brachyurus* no país. Assim, o primeiro passo para evitar tais problemas é o monitoramento constante da área com amostragem de solos antes do plantio e sempre que possível. Com isso, os riscos de introdução de novas espécies ou do aumento populacional daquelas espécies já incidentes serão consideravelmente menores, garantindo altas produtividades para o produtor.

Referências

- AGROFIT. **Sistema de agrotóxico fitossanitário** http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 21 de abril de 2022.
- CARNEIRO, R.G.; MORITZ, M.P.; MÔNACO, A.P.A.; NAKAMURA, K.C.; SCHERER, A. Reação de Milho, Sorgo e Milheto a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 9-13, 2007.

- CARTER, T.E.; NELSON, R.L.; SNELLER, C.H.; CUI, Z. Genetic diversity in soybean. In: BOERMA, H.R. & SPECHT, J.E. (eds) **Soybeans: improvement, production and uses**, 3rd edn. American Society for Agronomy, Madison, 2004, pp 303–416.
- DIAS, W.P.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Manejo cultural e genético do nematóide das lesões radiculares em soja. In: 6º Congresso Brasileiro de Soja, 2012, Cuiabá, MT. **Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: anais**, Brasília, DF. Embrapa 5 p. 1, 2012.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivares de soja safra 2014 - 2015 macrorregiões 4 e 5: regiões Norte e Nordeste do Brasil. Embrapa, v. 1, p. 1–5, 2014.
- Embrapa, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivares de soja lançamento 2015–2016. Embrapa Soja, v. 1, p 1–5, 2015.
- FREIRE, E.S.; PEDROSO, L.A.; TERRA, W.C., SILVA, J.C.P.; MARASCA, I.; CAMPOS, V.P. (2017) Manejo de fitonematoides no sistema de plantio direto. In: NEFIT (Eds) **Novos Sistemas de Produção**. 2017, pp 111-127.
- FURLANETTO, C.; SEIFERT, K.E.; FENSTERSEIFER, C.E.; PAGE, E.C.; DAVI, J.J.S.; GRABOWSKI, M.M.S. Desenvolvimento das culturas de soja, milho e trigo cultivadas em áreas infestadas com o nematoide *Tubixaba tuxaua* no Oeste do Paraná. **Tropical Plant Pathology**, v.35, n. 5, p. 295-302, 2010.
- GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; LONIEN, G.; PEREIRA, J.E. Avaliação de perdas causadas pelo nematoide de cisto através da comparação de rendimento entre cultivares resistentes e suscetíveis, **Anais do Congresso Brasileiro de Nematologia**, 25, 2005. Piracicaba, SP, ESALQ/USP. v. 25, p. 109. 2005.
- INOMOTO, M.M.; ASMUS, G.L. Culturas de cobertura e de rotação devem ser plantas não hospedeiras de nematóides. **Visão Agrícola**. v. 6, p. 112-116. 2009.

- KATH, J.; DIAS-ARIEIRA, C.R.; FERREIRA, J.C.A.; HO-
MIAK, J.A.; DA SILVA, C.R.; CARDOSO, C.R. Control
of *Pratylenchus brachyurus* in soybean with *Tricho-*
derma spp. and resistance inducers. **Journal of Phy-**
topathology, v. 165, n. 11-12, p. 791-799. 2017
- KIM, K.; VUONG, T.D.; QIU, D.; ROBBINS, R.T.; SHAN-
NON, J.G.; LI, Z.; NGUYEN, H.T. Advancements in
breeding, genetics, and genomics for resistance to
three nematode species in soybean. **Theoretical**
and Applied Genetics, v. 129, n. 12, p. 2295-2311,
2016.
- LIMA, F.S.O.; CORREA, V.R.; NOGUEIRA, S.R.; SANTOS
P.R.R. Nematodes affecting soybean and sustainable
practices for their management. In: KASAI, M (eds)
The basis of yield, biomass and productivity. In-
techOpen. 2017, pp. 95-110.
- MACHADO, A.C.Z.; MOTTA, L.C.C.; SIQUEIRA, K.M.S.;
FERRAZ, L.C.C.B.; INOMOTO, M.M. Host status of
green manures for two isolates of *Pratylenchus bra-*
chyurus in Brazil. **Nematology**, v. 9, n. 6, p. 799-
805, 2007.
- MACHADO, A.C.Z.; AMARO, P.M.; DA SILVA, A.S. Two no-
vel potential pathogens for soybean. **PLoS ONE**, v.
14, e0221416. 2019.
- MEYER, M.C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO-
GUIMARÃES, F.C. Soybean green stem and foliar re-
tention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*.
Tropical Plant Pathology, v. 42, n. 5, p. 403-409,
2017.
- MIRANDA, D.M.; FAVORETO, L.; RIBEIRO, N.R. Nema-
toides – um desafio constante. **Boletim de Pesqui-**
sa da Soja 2011, Rondonópolis, n. 15, p. 400-414,
2011.
- PETRILLO, M.D. & ROBERTS, P.A. Isofemale line analysis
of *Meloidogyne incognita* virulence to cowpea resis-
tance gene Rk. **Journal of Nematology**, v. 37, n.
4, p. 448-456. 2005.
- SHANNON, J.G.; ARELLI, P.R.; YOUNG, L.D. () Breeding
soybeans for resistance and tolerance. In: SCHMITT,
D.P.; WRATHER, J.A.; RIGGS, R.D. (eds) **Biology and**

- management of soybean cyst nematode**, 2nd ed. Schmidt & Associates of Marceline, Mareline,. 2004. pp 155–180.
- SILVA, J.C.P.; CAMPOS, V.P.; BARROS, A.F.; PEDROSO, M.P.; TERRA, W.C.; LOPEZ, L.E.; DE SOUZA, J.T. Plant volatiles reduce the viability of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* either directly or when retained in water. **Plant Disease**, v. 102, n. 11, p. 2170-2179, 2018.
- SILVA, J.C.P.; NUNES, T.; GUIMARÃES, R.A.; PYLRO, V.S.; COSTA, L.S.; ZAIA, R.; CAMPOS, V.P.; MEDEIROS, F.H. Organic practices intensify the microbiome assembly and suppress root-knot nematodes. **Journal of Pest Science**, v. 95, p. 709-721, 2021.
- SILVA, J.C.P.; TERRA, W.C.; FREIRE, E.S.; CAMPOS, V.P.; CASTRO, J.M.C Aspectos gerais e manejo de *Meloidogyne enterolobii*. In: NEFIT (Eds). **Sanidade de raízes**. 2014, pp 59-77.
- SOARES, P.L.M.; OTOBONI, C.E.M.; BATISTA, E.S.P.; SANTOS, J.M. Agricultura de Precisão e os Nematoides. In: GALBIATI, R. & BELOT, J.L. (Eds.). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2016, pp. 125-165.
- VALLE, L.A.; DIAS, W.P.; FERRAZ, S. Reação de algumas espécies vegetais, principalmente leguminosas, ao nematoide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, v, 20, n. 2, p. 30-40. 1997.

6 – Entomologia

DIAGNÓSTICO GERAL DA OCORRÊNCIA DE INSETOS-PRAGA NA CULTURA DA SOJA

Fernando Felisberto da Silva¹ e Ana Lúcia de Paula Ribeiro²

¹ Universidade Federal do Pampa campus São Gabriel: fernando.silva@unipampa.edu.br

² Instituto Federal Farroupilha campus São Vicente do Sul (IFFar): analucia.ribeiro@iffarroupilha.edu.br

Introdução

A produção de soja obtida no continente americano representa aproximadamente de 90% do total mundial, sendo apenas o Brasil e os Estados Unidos responsáveis por cerca de 65%, desta produção (USDA, 2020). O Brasil lidera a lista das exportações mundiais da oleaginosa, enquanto que a China, as importações. No caso do Brasil, contribuem de forma significativa para esta liderança os estados de Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul. Alguns aspectos limitantes desta produção incluem a ocorrência de insetos fitófagos que podem ser prejudiciais, dependendo da combinação de alguns fatores que contribuam para seu aumento populacional nas lavouras. Como sabemos as regiões produtoras nacionais apresentam significativas diferenças em relação a fatores climáticos, meteorológicos, edáficos, além da vegetação de entorno, biomas, formas de manejo entre outros. Estas diferenças refletem diretamente na composição de insetos que utilizam a cultura como fonte de alimento ou abrigo em algum estágio do seu desenvolvimento ou fase de vida. Conceitualmente um organismo é considerado uma praga quando se encontra em uma população capaz provocar algum tipo de prejuízo, geralmente econômico, seja ele direto ou indireto e que reflita negativamente em algum aspecto explorado positiva e intencionalmente pelo homem. As pragas podem ser de ocorrência constante ou esporádica e variáveis de acordo

com a região de ocorrência e condições ambientais. Estes aspectos devem ser considerados quando pensamos em fazer uma análise da ocorrência e intensidade de danos que os insetos-praga da cultura podem ocasionar.

A distribuição dos insetos no globo relaciona fatores bióticos e abióticos, os quais determinam as espécies predominantes na região e podem estar disseminadas em grandes áreas ou não em função da existência de microrregiões de características favoráveis próprias. Do ponto de vista da produção, em se falando da cultura da soja, a Instrução Normativa nº 1, de 2 de fevereiro de 2012 do MAPA, especifica, para fins de indicação das cultivares de soja no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as macrorregiões sojícolas e respectivas regiões edafoclimáticas. Segundo esta IN o Rio Grande do Sul está incluído na macrorregião sojícola 1 e apresenta três regiões edafoclimáticas. O pressuposto é que os insetos-praga adaptam-se para coexistir com a soja e fazem ótimas para eles as mesmas faixas de temperatura, umidade e fotoperíodo que são ideais para a planta. Verificamos neste contexto que nem todas as espécies de pragas, bem como nem toda a intensidade de dano, são iguais para todas as regiões. Desta forma, surge o primeiro critério a ser considerado no manejo de pragas: **adaptabilidade à região de ocorrência.**

Estas regiões edafoclimáticas ultrapassam os limites geográficos dos estados e envolvem vários municípios. Uma forma de abordar didaticamente o assunto é considerar as mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul divididas geograficamente pelo IBGE. Desta forma, abordaremos a situação da ocorrência dos insetos-praga da soja no estado relacionando as sete mesorregiões gaúchas, sendo elas: Noroeste, Nordeste, Centro Ocidental, Centro Oriental, Metropolitana, Sudoeste e Sudeste.

A região tradicionalmente produtora e responsável pela maior produção no estado é a noroeste, onde localiza-se o município de Santa Rosa, no qual a soja foi introduzida no estado há mais de 100 anos. Já as

maiores produções isoladas por municípios encontram-se nas regiões centrais, mais precisamente nos municípios de Tupanciretã e Júlio de Castilhos na região centro ocidental e Cachoeira do Sul, na região centro oriental (IBGE, 2020). Ainda, neste cenário as regiões centrais e sudeste aumentaram suas áreas nas últimas safras a uma taxa de 7,28% e 6,75% ao ano, respectivamente, elevando a participação dessas regiões na produção total estadual de soja (NETO, 2016).

Resumidamente verificamos que a problemática dos insetos-praga na cultura da soja altera-se com o passar dos anos em função das técnicas de manejo que são inseridas. Desde a década de 1980, principalmente, passamos por várias mudanças que abrangem desde o plantio direto até o uso em larga escala das cultivares transgênicas. Atualmente a expansão da cultura no estado gaúcho, atingindo áreas de várzea e substituindo ou aproximando-se de lavouras de arroz e pastagens, vem possibilitando o estabelecimento de insetos-praga que antes não eram tradicionais na soja. Associado a isto, observa-se ainda a questão da utilização de agrotóxicos de forma não adequada, seja produtos sem registro para a cultura, inadequados ou desnecessários que reflete em todo agroecossistema (MARTINS et al., 2016; RITTER et al., 2018). Esta situação favoreceu algumas espécies de insetos e contribuíram indiretamente para o aumento populacional de outras. Contudo, mudanças de status e modificações nos níveis de danos econômicos, tanto de pragas tradicionais como novas ou pouco conhecidas são alguns aspectos que merecem atenção. Temos aqui o segundo critério para o manejo de pragas: **correta identificação e monitoramento populacional**.

Vale ressaltar que não ocorreram introduções importantes no que tange aos insetos, mas ocorreram mudanças significativas na ordem de importância das já existentes e com variações perceptíveis em função da região geográfica considerada.

Quando falamos em controle, o mesmo passa pela escolha das cultivares, desde aspectos que envol-

vam transgenia e suas características agronômicas. A exploração da resistência de plantas a insetos, principalmente em nível molecular, é uma ferramenta praticamente inexplorada em escala comercial, mas de grande aplicação prática. O uso de inseticidas, não fica restrito apenas na escolha do produto de melhor efeito, mas também na observação de algumas questões como possíveis falhas na tecnologia de aplicação e uso repetido e sem a real necessidade ou em populações da praga muito aquém as capazes de causar um dano, o que pode gerar contaminação ocupacional ou ambiental e estímulo da resistência. Temos ainda a questão do tratamento de sementes industrial (TSI), que desponta como uma nova realidade. E isto nos remete ao terceiro critério para o manejo de pragas: **escolha da melhor integração de técnicas para a redução populacional.**

A seguir traçamos algumas considerações sobre as principais pragas de ocorrência na cultura da soja. As informações são um compilado de observações de pesquisa ou de campo realizadas por pesquisadores, profissionais, produtores e demais atores envolvidos com a cultura, algumas das quais não apresentam indicações na literatura e são baseadas na experiência dos autores.

Lagartas

Anticarsia gemmatalis por muitos anos foi considerada a principal lagarta da cultura da soja. Seu status de praga atual foi modificado inicialmente pelo intenso uso de inseticidas para o controle da *Chrysodeixis includens*, praga que quando da época em que *A. gemmatalis* era dominante, não apresentava grandes perdas econômicas. A adoção de inseticidas piretróides para o controle de *A. gemmatalis* não era o suficiente para controlar da mesma forma as populações de *C. includens*, uma vez que esta apresenta comportamento diferenciado, situando-se mais ao interior do dossel da cultura e, por isso não era atingida pelo inseticida. Com o passar dos anos, as populações de *A. gemmatalis* foram gradualmente reduzindo e as de *C. includens*, elevando-se,

a ponto da primeira praticamente não representar mais danos significativos e a segunda ser responsável pelas maiores perdas de produção. Esta situação permaneceu até a emergência das cultivares transgênicas, nas quais a inserção da toxina Bt levou a uma significativa redução destas duas lagartas.

Na fase inicial de desenvolvimento da soja poderá haver ataque às plântulas, principalmente por *Spodoptera frugiperda*, reduzindo a população de plantas. As lagartas cortam plantas rentes ao solo podendo ser confundidas com os danos provocados pela lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*). A *S. frugiperda* pode atacar também plantas na fase vegetativa, causando desfolha acentuada. Na fase reprodutiva, além da *S. frugiperda*, recebem importância também as espécies *S. eridania* e *S. cosmioides*, as quais além de desfolha, podem causar danos diretos às vagens. Na região noroeste do Rio Grande do Sul, observamos nas últimas safras a predominância do grupo dos plusíneos, representada principalmente pela *C. includens*. Os danos foram significativos e exigiram a adoção de medidas de controle na maioria das lavouras. A ocorrência de inimigos naturais em níveis que pudessem dispensar a aplicação de inseticidas foi baixa. Este grupo também predominou nas regiões Nordeste, Centro e Sudeste e Sudoeste.

A exemplo do que foi dito anteriormente, a espécie *C. includens* tem-se sobressaído em comparação com a lagarta da soja *A. gemmatalis* nos monitoramentos realizados em municípios da região central do Rio Grande do Sul a partir da safra 2015. Nesta região ocorreu um aumento populacional de *C. includens* nos meses de dezembro a janeiro quando a soja se encontrava no estágio fenológico vegetativo. Considerada uma espécie voraz, normalmente se mantém mais protegida na folhagem da planta. Em horários com maiores temperaturas, a lagarta-falsa-medideira ataca as partes baixas da planta por isso, é recomendável realizar a aplicação de inseticidas durante a noite, período no qual as lagartas estão expostas no terço superior da planta. Para obter maior eficiência no controle o produtor deve optar por inseticidas

seletivos e recomendados para a praga, para preservar os inimigos naturais nas lavouras, o que contribuirá para a redução do uso de inseticidas químicos e a contaminação ambiental.

Os danos mais intensos de *A. gemmatilis* foram observados em períodos de escassez de chuva. Esta espécie tem o comportamento de permanecer mais no terço superior da planta ficando mais suscetível ao controle natural e químico. Portanto, é possível afirmar que cada região possui variações nas interações insetos-planta devido aos fatores abióticos, como temperatura, umidade e da entomofauna presente na cultura. Estes fatores são fundamentais no momento do monitoramento e tomada de decisão para o controle. Estratégias de manejo devem ser empregadas para reduzir o aumento populacional das lagartas. Dentre elas podemos citar a utilização tecnologia Intacta RR2 PRO® (soja *Bt*) e o uso de áreas de refúgio adotando soja RR (tolerante ao glifosato) e o controle com inseticidas seletivos e registrados para as espécies de lagartas.

Aplicações de inseticidas realizadas junto com herbicidas e fungicidas em misturas de tanque têm desequilibrado o microambiente permitindo que populações de pragas cresçam exponencialmente.

Uma solução favorável para contenção de pragas nas lavouras é utilizar o manejo integrado, cujo objetivo é manter o equilíbrio biológico associando medidas estratégias como monitoramento, amostragem, utilização de cultivares resistentes, controle biológico natural e aplicado e uso seletivo de inseticidas.

Quando da adoção de cultivares de soja portadoras da toxina *Bt*, merecem destaque as lagartas do gênero *Spodoptera*, principalmente *S. eridania* e *S. cosmioides*, que vem se mostrando tolerantes à tecnologia, destacadamente na região sudoeste, em áreas de soja em várzea, onde tivemos ataques de intensidade variáveis de *S. eridania* e *S. cosmioides*, principalmente em folhas e vagens. Profissionais que operam em outras regiões produtoras como a noroeste, também relatam a

recente ocorrência desta espécie, porém ainda de forma esporádica e sem danos significativos, provavelmente devido a menor existência das culturas hospedeiras, como o arroz e as pastagens, nesta região. Estas situações, no entanto, alertam para o problema da resistência que estes insetos vêm desenvolvendo às tradicionais cultivares Bt e, mais uma vez, reforça a necessidade de monitoramento constante.

A oferta continuada de alimento a insetos polívoros devido a sucessão de culturas, a existência de culturas irrigadas nas regiões centrais do estado, a integração lavoura-pecuária e o cultivo de soja com a tecnologia Bt prolonga o tempo de sobrevivência dos insetos, principalmente das espécies *S. frugiperda* e *S. cosmioides*. A correta identificação das espécies de lagartas desfolhadoras da soja nos campos é um parâmetro importante a ser considerado, para auxiliar a tomada de decisão e o momento mais adequado para o controle.

O controle *S. frugiperda* na cultura da soja tem sido feito principalmente com o uso do controle químico, porém o comportamento da espécie em ovipositar com mais frequência na superfície inferior da folha, no terço médio e inferior da planta, e pela permanência das lagartas de primeiro e segundo ínstarés próximas ao local da postura, reduz a eficiência das pulverizações (FERNANDES et al., 2009).

Recentemente uma ferramenta integrada ao controle de lagartas na cultura da soja são as cultivares com a tecnologia Bt, liberadas para o cultivo na safra 2013/14. Esta geração de genes de *Bacillus thuringiensis* é uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas, porém, não controla as lagartas do complexo *Spodoptera*. Portanto o manejo de pragas nas culturas com a tecnologia Intacta RR2 PRO® deve seguir as premissas do manejo integrado, com o monitoramento das lavouras e controle no momento em que as pragas atingem o nível de ação, dando prioridade ao uso dos inseticidas seletivos. Estas espécies merecem atenção, pois,

são consideradas pragas agrícolas nas culturas do arroz irrigado, milho e pastagens de inverno culturas presentes na Região central do Estado do Rio Grande do Sul (RIBEIRO, 2018).

Além destas, outras lagartas costumam ser registradas nas lavouras. *Helicoverpa armigera* apresentou pequenos surtos populacionais em 2013 e 2014, nas regiões sudeste e metropolitana que não ocasionaram perdas severas na maioria das regiões. Atualmente seu status de praga na região sul do Brasil merece ser re-discutido. Lagartas de solo como a elasmô (*Elasmopalpus lignosellus*) e a lagarta-rosca também podem ocorrer, principalmente em áreas recém dessecadas e semeadas em seguida com a cultura, principalmente se anteriormente ocupadas com arroz irrigado ou pastagens.

Em todos os casos o monitoramento das lagartas é fundamental, independente se a cultivar utilizada apresenta tolerância ou não às lagartas, já que podem surgir casos de resistência do inseto. As áreas de maior predisposição ao surgimento da resistência são as que não apresentam refúgio e antecedidas por culturas de gramíneas ou até mesmo áreas dessecadas e imediatamente semeadas, o que provoca o deslocamento das populações de lagartas e o ataque inicial às plântulas de soja.

Ácaros, tripes e minadores

Outras pragas importantes são os ácaros e tripes. Dentre os ácaros, que não são insetos e sim aracnídeos, várias espécies merecem destaque (Guedes et al., 2007) e ocorrem de maneira generalizada em praticamente todas as regiões do estado. A ocorrência de estiagem, as aplicações desnecessárias de inseticidas, principalmente de piretroides e neonicotinóides para o controle de lagartas e de alguns fungicidas para o controle de doenças, elevam as infestações pela interferência em seus inimigos naturais. Com o aumento das infestações de percevejos e as tardias de lagartas, principalmente em vagens, bem como da ferrugem-asiática, têm-se maiores

registros de problemas em decorrência ao ataque destes aracnídeos, justamente pelo fato da época de ocorrência destas pragas coincidirem. O controle de ácaros por meio de acaricidas é dependente da adoção de boas práticas em tecnologia de aplicação, como pressão e tamanho de gotas, além da utilização de adjuvantes para melhor deposição. Outro fato a ser considerado, tais organismos, pelo seu comportamento, são difíceis de serem atingidos pela calda pulverizada.

Os tripses são insetos de ampla distribuição nas regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul. Igualmente aos ácaros, períodos de estiagem, aplicações de inseticidas e deficiências nutricionais provocam a sua elevação populacional. O aumento populacional destes insetos é rápido e altamente dependente das condições ambientais. Para o seu manejo, antecessão com gramíneas e inseticidas de ação translaminar são os métodos que apresentam melhores resultados.

Tanto para ácaros como para tripses não existem estudos sobre níveis de dano.

Insetos minadores como a mosca da haste da soja (*Melanagromyza* sp.), foram observados praticamente em todas as regiões, com predominância nas regiões centrais, noroeste e nordeste, no entanto, não foram registrados danos econômicos significativos. No entanto, merece discussão no sentido de prevenção e monitoramento, a fim de se verificar seu real status como praga. O inseto é relatado por GASSEN et al. (1985), desde a década de 1980 na região noroeste. GUEDES et al. (2015) também relatou a presença recente do inseto em municípios da região noroeste. Até o momento foram verificadas por produtores e técnicos, infestações iniciais nas regiões noroeste e centro e finais no litoral sul, mais especificamente em Santa Vitória do Palmar, região sudeste do estado.

Percevejos

Os percevejos representam um grande desafio para o controle de pragas na cultura. Várias espécies são

relatadas nas lavouras e apresentam importantes diferenças em relação ao dano e diversidade.

Trabalhos na região sudoeste apontam a ocorrência de *Piezodorus guildinii* em cerca de 62% das amostras, seguido de *Euschistus heros* com 21%, *Dichelops furcatus* com 10%, *Edessa meditabunda* com 5% e *Nezara viridula* com pouco mais de 1%. No Rio Grande do Sul, Gassen (2002) já apontava a alta prevalência de *P. guildinii*. Sosa-Goméz et al. (2019) comentaram que o tipo de espécie predominante contribui para o aumento dos danos já causados. Segundo estes autores, *P. guildinii* causa lesões mais profundas, cerca de 2,0 mm, quando comparado a *D. melacanthus* (0,5 mm), enquanto as lesões causadas por *E. heros* (0,8 mm) e *N. viridula* (1,2 mm) são intermediárias. Esses fatores fazem variar fortemente os níveis populacionais de econômico e de ação, dependendo da espécie.

De acordo com Defensor et al. (2020), a fenologia da soja influencia a dinâmica populacional dos percevejos, principalmente no surgimento da inflorescência, floração, desenvolvimento de frutos e sementes. Além disso, dependendo da cultivar, pode haver diferenças na suscetibilidade entre as cultivares em função das características genéticas. Um dos maiores danos causados pelos percevejos, quando o ataque ocorre no período de formação dos grãos, deve-se ao impedimento da formação de grãos, ou seja, a formação de grãos chochos. Estes danos tornam-se mais importantes uma vez que dificilmente são contabilizados como perda causada por percevejos, já que são eliminados durante o processo de trilha no ato da colheita, pois não apresentam peso, sendo quantificados apenas os grãos picados/lesionados, originados de ataques tardios. Em outros trabalhos (ainda não publicados) realizados na região sudoeste, as perdas por grãos chochos foram quatro vezes maiores que as perdas por grãos picados, isso se deveu-se ao fato de que, embora não haja diferenças entre o número de grãos picados na média das áreas, os grãos chochos perderam aproximadamente 96% do seu peso, enquan-

to os grãos picados, cerca de 18%, quando comparados aos grãos saudáveis.

Já na região central a espécie com maior ocorrência durante o período reprodutivo da cultura foi *E. heros*. Nas últimas safras, tornou-se a espécie predominante em várias regiões do estado do Rio Grande do Sul, porém atribui-se a esta o menor potencial de dano entre os principais percevejos pragas-da-soja e a menor rentenção foliar (DEPIERI, 2010). Monitoramentos nesta região indicaram a presença de percevejos em todo o ciclo da cultura com elevada população de *E. heros* nos estádios de enchimento de grãos e maturação. Esta espécie pode alcançar até oito gerações por ano e estão associados a várias culturas e plantas nativas. Esta característica associada a elevada resistência aos inseticidas contribui para o aumento populacional nas lavouras de soja.

Coleópteros

Coleópteros como *Diabrotica speciosa*, *Sternuchus subsignatus* e escarabeídeos tem ocorrência esporádica na cultura. As regiões centro e nordeste e noroeste ocorreram pequenos focos, que exigiram aplicações pontuais de inseticidas. Apesar da comprovada eficiência no controle de *S. subsignatus*, por meio da rotação de culturas com gramíneas, a opção pelo controle químico ainda é a principal ferramenta utilizada.

A espécie *D. speciosa* na região central é encontrada com frequência, contudo não atinge uma desfolha mínima de 30% na fase vegetativa ou de 15% na fase reprodutiva, sendo assim, não gerando danos expressivos a cultura. Como espécie polífaga é necessária uma atenção nos monitoramentos da cultura.

Considerações finais

Sobre a situação da ocorrência dos principais insetos-praga da cultura da soja, podemos considerar que as principais, em termos de severidade de danos e dificuldades de controle, concentram-se ainda nas lagartas, porém, com o avanço da ocorrência de percevejos e ácaros. Em relação às lagartas os desafios gravitam em

torno da resistência que várias espécies vêm adquirindo aos inseticidas. Percevejos e ácaros nos instigam a realizar novas pesquisas que foquem em níveis e severidade de danos, bem como na busca de alternativas integradas para a eficiente redução populacional das mesmas nas áreas de produção de soja.

A ausência ou a realização deficiente do monitoramento populacional dos insetos-praga é um grande empecilho para a implementação de um manejo racional e econômico. Quando esta atividade é bem realizada, podemos optar pela melhor alternativa de controle, seja mecânica (preparo do solo), cultural (pela escolha de cultivares ou rotação de culturas), biológica, fisiológica ou química. Desta forma, o manejo de pragas não limita-se apenas na safra atual, mas é uma atividade planejada e constante. Além disso, baseado em níveis populacionais, podemos reduzir as interferências de manejo, aumentando a economicidade e qualidade ambiental do manejo. Os conhecimentos técnicos para a realização de um controle adequado estão disponíveis e os resultados de diversos programas de monitoramento mostram a eficiência econômica e ambiental, porém a adoção é baixa por parte dos produtores que poderá a longo prazo comprometer a sustentabilidade da cultura.

O recente avanço da cultura da soja em regiões não tradicionais como a sudoeste, sudeste e centrais, tradicionais produtoras de arroz irrigado, merece maior atenção dos envolvidos para que se possa identificar a diversidade e dinâmica das pragas na região. Os grandes avanços biotecnológicos no desenvolvimento de cultivares portadoras de resistência a insetos, doenças e herbicidas nos possibilitaram valiosos aumentos de produtividade da soja nos últimos anos, porém, por algumas dificuldades e erros no manejo destas tecnologias, muitas pragas ganharam importância. As tendências mundiais na redução ou banimento de algumas moléculas de agrotóxicos ainda em uso no Brasil, para o controle destas pragas, também poderão representar desafios futuros para a pesquisa.

Desta forma, é fundamental o engajamento de produtores, profissionais, pesquisadores, indústria e políticas de governo no sentido de garantir as elevadas produções em equilíbrio com o ambiente e garantir a sustentabilidade da atividade.

Referências

- DEFENSOR, M.O., GONRING, A.H.R., BORGES, L.F.; RUEDA, A.P.; MARTINÉZ, L.C.; FERNANDES, F.L. Population dynamics of stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) associated at various soybean phenological stages. **Journal of Plant Diseases and Protection**, 2020.
- FERNANDES, G. W.; MENDES, S. M.; FERMINO, T. C.; WAQUIL, J. M. Adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros no campo. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9. 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: [s.n.], 2009. p. 3.
- GASSEN, D. K.; SCHNEIDER, S. Ocorrência de *Melanogromyza* sp. (Dip. Agromizidae) danificando soja no sul do Brasil. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 13., 1985, Porto Alegre. **Soja: resultados de pesquisa 1984-85**. Passo Fundo: Embrapa-CNPQ, 1985. p. 108-109.
- GASSEN, D.N. Recomendações para manejo e controle de percevejos. **Revista Plantio Direto**, n. 67, p. 24-25, 2002.
- GUEDES, J. V. C. et al. Mosca-da-haste da soja no Brasil. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 16, n. 197, p. 28-30, 2015.
- GUEDES, J.V.C.; NAVA, D.; LOFEGO, A.C.; DEQUECH, S.T.B. Ácaros associados à cultura da soja no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, vol.36, n.2, p.288-293, 2007.
- HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Embrapa, Brasília-DF, 859p., 2012.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/>. Acesso em: 12 de março de 2020.
- MARTINS, J. F. da S.; SILVA, F. F. da; THEISEN, G.; MATTOS, M. L. T.; BOTTA, R. A.; PAZINI, J. de B.; NUNES, C. D. M. **Diagnóstico sobre o manejo de agrotóxicos em áreas orizícolas da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 46p. (Documentos, 421).
- NETO. A. O. A produtividade da soja: análise e perspectivas. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento.** Brasília: Conab, -v.10, 2016. 35p.
- RIBEIRO, A.L. de P.; SILVA, C.V.N. da; RIBEIRO, F.S.; RODRIGUES, F.T.; GIUSTINA, G.D.; ZAMBERLAN, J.B.; FREITAS, K.S.; FLORES, M.R.; ALVES, Y.M. **Ocorrência de insetos-praga e inimigos naturais na Cultura da Soja nos municípios da Região central do Estado do Rio Grande do Sul.** 2018. 12p (Instituto Federal Farroupilha. Circular Técnica, 1).
- RITTER, G. J.; SILVA, F.F da.; RUSSINI, A. Ação fiscalizatória e adequação da indicação, comércio e uso de agrotóxicos por agricultores da fronteira oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Tecnológica**, v. 22, n. 1, p. 50-57, 2018.
- SOSA GÓMEZ, D.R.; CORRÊA FERREIRA, B.S.; KRAEMER, B.; PASINI, A.; HUSCH, P.E.; VIEIRA, C.E.D.; MARTINEZ, C.B.R.; LOPES, I.O.N. Prevalence, damage, management and insecticide resistance of stink bug populations (Hemiptera: Pentatomidae) in commodity crops. **Agricultural and Forest Entomology**, 2019.
- USDA. United States Department of Agriculture. **World agricultural supply and demand estimates – february, 2020.** Estados Unidos: WASDE/ICEC, 2020. 38p.

7 – Difusão de Tecnologia e Socioeconomia

ANÁLISE DO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO PREÇO DA SOJA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL: 2020

Nilson Luiz Costa¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Palmeira das Missões - RS, Brasil. E-mail: nilson.costa@ufsm.br

Introdução

Nas últimas décadas a Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (P, D&I) proporcionaram significativos avanços para a sojicultura, que, por sua vez, resultaram em insumos mais eficientes, plantio e tratos culturais mais eficazes. Com isso, foi possível aumentar a área plantada, os níveis de produção e de produtividade e a soja passou a ser cultivada em todas as regiões do Brasil (COSTA et al., 2014).

Em decorrência deste cenário, que resultou em maior tecnificação da atividade, a gestão do empreendimento agropecuário passou a ser mais complexa, uma vez que os preços dos insumos também aumentaram e os custos de produção cresceram consideravelmente. Diante disto, a informação, o planejamento e adoção de estratégias de gestão profissionalizadas tornaram-se ainda mais essenciais ao processo de conversão da produção agropecuária em lucro econômico (COSTA, 2019).

Muitas são as dúvidas dos produtores rurais sobre diversos assuntos e no cotidiano do sojicultor a definição do momento adequado para vender a soja e a estratégia a ser implementada para comercializar a produção passaram a ser relevantes, dados o elevado custo de produção e os riscos inerentes à atividade agrícola. Apesar de não existir uma orientação única, pois o perfil e a estrutura de endividamento de cada produtor deve

ser levada em consideração no momento da tomada de decisão de comercializar ou não a produção, existem parâmetros que podem ser seguidos para entender o processo de formação do preço da soja e as tendências de curto, médio e longo prazos.

Este estudo contempla este escopo, uma vez que tem por objetivo entender a dinâmica que condiciona a formação do preço da soja no Brasil e, em especial, no Rio Grande do Sul. Para isso, tomou-se como referência básica o município de Palmeira das Missões/RS, por ser um dos principais em volume de produção e comercialização e estar próximo de indústrias processamento de soja no estado do Rio Grande do Sul, que é um dos principais produtores da oleaginosa do país.

O mercado da soja e o processo de formação do preço foram estudados a partir de uma pesquisa que pode ser caracterizada como descritiva e exploratória. Entre os principais resultados, destaca-se a importância das relações de transmissão de preços do mercado internacional para o mercado doméstico, bem como, a relevância do prêmio de exportação, da taxa de câmbio e dos custos operacionais logísticos no processo de formação do preço pago ao produtor de soja do município de Palmeira das Missões/RS e, em analogia, do Rio Grande do Sul.

Este capítulo está dividido em quatro grandes seções, sendo esta introdução a primeira. Na segunda seção estão os materiais e métodos empregados para a realização da pesquisa, que se constituem, basicamente como um percurso metodológico. Em sequência, na terceira seção, estão os resultados e discussões e, após, as considerações finais.

Material e Métodos

A presente pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva. As informações utilizadas foram obtidas através de consulta em publicações especializadas na área. A partir de ampla pesquisa bibliográfica

e acompanhamento de mercado, observou-se que a formação do preço da soja no Brasil ocorre a partir de uma relação de transmissão de preços entre o mercado internacional, representado pelas cotações na Chicago Board of Trade (CBOT), integrante do CME Group, o maior e mais diversificado mercado de derivativos do mundo. Neste contexto, Margarido, Turolla e Bueno (2007), Mafioletti (2019), Costa e Santana (2018) e Costa (2017; 2019) destacam a existência de relação de causalidade das séries de preços de soja no mercado internacional para as séries de preços no mercado interno brasileiro.

Considerando que a referência de preços é dada na CBOT, em dólares por bushel (bu), as cotações no Brasil passam, necessariamente, pela conversão do preço para R\$ por saca e, em função disso, a taxa de câmbio tem um papel determinante, pois suas oscilações provocam alterações nos níveis de preços nominais em reais, em uma dinâmica que é explicada por Krubman e Obstfeld (2010).

Segundo Aguiar (1990), Moraes (2002) e Costa (2018), outra variável importante neste processo de formação do preço pago ao produtor brasileiro é o prêmio de exportação, que se constitui enquanto remuneração adicional paga pelo importador da soja brasileira, em decorrência de um conjunto de fatores, entre os quais: a) as condições locais de oferta e demanda, b) as diferenças de qualidade da soja produzida no Brasil em relação à produzida nos outros países, c) a eficiência das operações portuárias, d) condições de pagamento e e) recentemente, as condições geopolíticas internacionais, em especial vinculadas à Guerra Comercial EUA x China.

Do mesmo modo, os custos logísticos, taxas e comissões são importantes no processo de formação do preço pago ao produtor rural. Neste contexto, identificou como relevantes para o processo de formação do preço pago ao produtor o conjunto de variáveis do Quadro 1.

Quadro 1. Descrição das variáveis importantes para a formação do preço pago ao produtor de soja no Brasil e no Rio Grande do Sul. Fonte: Elaboração própria, com base em Tibusch (2003), Costa (2017), Costa e Santana (2018), Costa (2018a; 2018b) e reportes de mercado.

Variável	Descrição
1. Preço CBOT (cUS\$/bu)	É o preço (em US\$ por bushel) referenciado pelo contrato com maior número de negociações em aberto na Chicago Board of Trade (CBOT), bolsa integrante do CMEGroup.
2. Prêmio Rio Grande (cUS\$/bu)	É o prêmio de exportação (em US\$ por bushel) no porto de embarque do grão.
3. Preço em Rio Grande (US\$/t)	Corresponde ao preço (em US\$) da tonelada de soja no Porto do Rio Grande.
4. Taxa de Câmbio	É a taxa de câmbio R\$/US\$.
5. Preço Rio Grande (R\$/t)	Corresponde ao preço (em R\$) da tonelada de soja no Porto do Rio Grande.
6. Custos operacionais (R\$/t)	É a soma dos custos logísticos e operacionais envolvidos nas operações de exportação de soja.
6.1 ICMS (R\$/t)	É Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Após a Lei Complementar 87/1996, esta alíquota foi zerada nas operações de exportação.
6.2 Frete (R\$/t)	É o preço do frete (em R\$/tonelada) de Palmeira das Missões/RS para Rio Grande/RS.
6.3 Despesas Portuárias (R\$/t)	Despesas portuárias arbitradas em US\$ 8,50/t, com base na Tarifa Portuária Válida a partir de 1º de Julho de 2016 da Superintendência do Porto do Rio Grande; com base em produções científicas da área de logística e consultorias especializadas (Safras & Mercado).
6.4 PIS (R\$/t)	É valor correspondente ao pagamento do Programa de Integração Social. Após a Lei Complementar 87/1996, esta alíquota foi zerada nas operações de exportação.
6.5 Taxas e Comissões (R\$/t)	Equivale às taxas e comissões associadas à realização de negócios. Despesa arbitrada em US\$ 0,50/t, com base em e Safras & Mercado e produções científicas da área;
6.6 Corretagem de Câmbio (R\$/t)	Valor correspondente a taxas de corretagem de câmbio. Em média, é de 0,1875% sobre o montante da operação.
6.7 Cofins (R\$/t)	É o valor correspondente à Contribuição para Financiamento da Seguridade Social Sobre (Cofins). Após a Lei Complementar 87/1996, esta alíquota foi zerada nas operações de exportação.
6.8 Quebra (R\$/t)	Atribui-se a este item o valor médio de 0,5%, conforme literatura científica e reportagens jornalísticas que tratam do assunto.
7. Preço Líquido (R\$/t)	Corresponde ao valor total da tonelada de soja deduzidas as despesas operacionais e logísticas.
8. Preço Paridade de Exportação (R\$/sc)	Corresponde ao Preço Paridade de Exportação, da saca de soja, em Palmeira das Missões/RS.
9. Preço de Balcão (R\$/sc)	É o preço de balcão (em R\$/saca) ofertado pelas empresas e organizações que compram soja.
10. Relação Mercado Físico x Rio Grande	Equivale ao percentual do preço de balcão sobre o preço paridade de exportação.

Portanto, os preços da soja nos portos de brasileiros, que são referência para o mercado físico nas regiões produtoras, são formados principalmente pelo comportamento dos futuros de soja em Chicago, da taxa de câmbio R\$/US\$ e do prêmio de exportação nos portos brasileiros.

Também, as despesas com fretes, taxas portuárias, corretagem entre outros custos logísticos também são importantes componentes e ajudam a explicar os diferentes níveis de preços no mercado físico nas distintas regiões produtoras do Brasil e do Rio Grande do Sul, conforme destaca-se em Tibusch (2003), Costa e Santana (2018), Costa (2017; 2018a; 2018b; 2019) e reportes de mercado.

Neste contexto, a o mecanismo de transmissão de preços pode ser verificados a partir do conjunto de variáveis dadas pelo mercado e de equações utilizadas para calcular o Preço Paridade de Exportação (PPE), que, por sua vez, é resultante de uma sucessão de cálculos que inicia com os níveis de preços dos futuros de soja na CMEGroup-CBOT, os prêmios de exportação e a taxa de câmbio, conforme pode ser observado no Quadro 2, utilizado como referência para estudo da formação do preço da soja em Palmeira das Missões/RS.

Quadro 2. Equações utilizadas para a formação do preço pago ao produtor de soja no Brasil.

Variável	Variável/Equação
1. Preço CMEGroup-CBOT	$PCBOT^{US\$/bu}$
2. Prêmio Rio Grande (cUS\$/bu)	$Premio^{US\$/bu}$ (1)
3. Preço em Rio Grande (US\$/t)	$PSojaRGR^{US\$/t} = (PCBOT^{US\$/bu} + Premio^{US\$/bu}) * 36,7437$ (2)
4. Taxa de Câmbio	$Cambio^{R\$/US\$}$
5. Preço Rio Grande (R\$/t)	$PSojaRGR^{R\$/t} = PSojaRGR^{US\$/t} * Cambio^{R\$/US\$}$ (3)
6. Custos operacionais (R\$/t)	$CtOpr^{R\$/t} = ICMS^{R\$/t} + Frete^{R\$/t} + DespPorto^{R\$/t} + PIS + TxC^{R\$/t} + CrCamb^{R\$/t} + Cofins^{R\$/t} + Quebra^{R\$/t}$ (4)
6.1 ICMS (R\$/t)	$ICMS^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,009\%$ (5)
6.2 Frete (R\$/t)	$Frete^{R\$/t}$
6.3 Despesas Portuárias (R\$/t)	$DespPorto^{R\$/t} = 8,50 * Cambio^{R\$/US\$}$ (6)
6.4 PIS (R\$/t)	$PIS^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,009\%$ (7)
6.5 Taxas e Comissões (R\$/t)	$TxC^{R\$/t} = 0,50 * Cambio^{R\$/US\$}$ (8)
6.6 Corretagem de Câmbio (R\$/t)	$CrCamb^{R\$/t} = 0,001875 * PSoja^{R\$/t}$ (9)
6.7 Cofins (R\$/t)	$Cofins^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,009\%$ (10)
6.8 Quebra (R\$/t)	$Quebra^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,005$ (11)
7. Preço Líquido (R\$/t)	$PL^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} - DespTotal^{R\$/t}$ (12)
8. Preço Paridade de Exportação (R\$/sc)	$PPe^{R\$/saca} = \frac{PL^{Tonealinda}}{1000} * 60$ (13)
9. Mercado Interno - Preço Balcão (R\$/sc)	$PB^{R\$/saca}$
10. Relação Mercado Físico x Rio Grande	$Relação^{MFxRGR} = \frac{PB^{Saca}}{PPe^{R\$/saca}}$ (14)

Fonte: Elaboração própria, com base em Costa e Santana (2018) e Costa (2017).

A partir destas informações, encontra-se o preço de referência no Porto e, deduzidos os custos operacionais, dados principalmente pelo custo de frete, despesas portuárias, taxas e comissões, corretagem de câmbio e quebra, encontra-se o PPE para a praça em análise. Os resultados empíricos desta análise podem ser observados na seção de resultados e discussões.

Resultados e Discussões

A presente seção está dividida em dois subcapítulos. O primeiro tem o propósito de apresentar a análise do processo de formação do preço da soja no município de Palmeira das Missões/RS, a fim de demonstrar a forte relação de transmissão de preços de Chicago e da taxa de Câmbio para o mercado físico brasileiro. A segunda seção é formada por análises conjunturais de longo prazo para a oferta e demanda por soja no Brasil e nos principais países produtores, consumidores, exportadores e importadores.

A formação do preço no mercado físico e o Preço Paridade de Exportação

O Preço Paridade de Exportação é um indicador que permite observar a relação de transmissão de preços do mercado internacional para o mercado doméstico, da taxa de câmbio para o mercado doméstico e do prêmio de exportações para o mercado doméstico. Neste contexto, com base no fechamento do mercado do dia 30/04/2020, calculou-se o PPE (R\$/saca), com referência para o município de Palmeira das Missões/RS, conforme é possível observar no Quadro 3.

Quadro 3. Preço Paridade de Exportação em Palmeira das Missões/RS-Brasil: 30/4/2020

Variável	Variável/Equação
1. Preço CMEGroup-CBOT	$PCBOT^{US\$/bu} = 8,5525$
2. Prêmio Rio Grande (cUS\$/bu)	$Premio^{US\$/bu} = 0,4900$
3. Preço em Rio Grande (US\$/t)	$PSojaRGR^{US\$/t} = (PCBOT^{US\$/bu} + Premio^{US\$/bu}) * 36,7437$ $= (8,5525 + 0,4900) * 36,7437 = 332,25$
4. Taxa de Câmbio	$Cambio^{R\$/US\$} = 5,4371$
5. Preço Rio Grande (R\$/t)	$PSojaRGR^{R\$/t} = PSojaRGR^{US\$/t} * Cambio^{R\$/US\$}$ $= 332,25 * 5,4371 = 1.806,50$
6. Custos operacionais (R\$/t)	$CtOpr^{R\$/t} = ICMS^{R\$/t} + Frete^{R\$/t} + DespPorto^{R\$/t} + PIS$ $+ TxCR^{R\$/t} + CrCamb^{R\$/t} + Cofins^{R\$/t}$ $+ Quebra^{R\$/t}$ $= 0,00 + 80,00 + 46,22 + 0,00 + 2,72 + 3,39$ $+ 0,00 + 9,03 = 141,35$
6.1 ICMS (R\$/t)	$ICMS^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,00\% = 1.806,50 * 0,00\% = 0,00$
6.2 Frete (R\$/t)	$Frete^{R\$/t} = 80,00$
6.3 Despesas Portuárias (R\$/t)	$DespPorto^{R\$/t} = 8,50 * Cambio^{R\$/US\$} = 8,50 * 5,4371 = 46,22$
6.4 PIS (R\$/t)	$PIS^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,00\% = 1.806,50 * 0,00\% = 0,00$
6.5 Taxas e Comissões (R\$/t)	$TxCr^{R\$/t} = 0,50 * Cambio^{R\$/US\$} = 0,50 * 5,4371 = 2,72$
6.6 Corretagem de Câmbio (R\$/t)	$CrCamb^{R\$/t} = 0,001875 * PSoja^{R\$/t} = 0,001875 * 1.806,50$ $= 3,39$
6.7 Cofins (R\$/t)	$Cofins^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,00\% = 1.806,50 * 0,00\% = 0,00$
6.8 Quebra (R\$/t)	$Quebra^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} * 0,005 = 1.806,50 * 0,005 = 9,03$
7. Preço Líquido (R\$/t)	$PL^{R\$/t} = PSoja^{R\$/t} - DespTotal^{R\$/t} = 1.806,50 - 141,35$ $= 1.665,15$
8. Preço Paridade de Exportação (R\$/sc)	$PPE^{R\$/Saca} = \frac{PL^{Toneatada}}{1000} * 60 = \frac{1.665,15}{1000} * 60 = 99,91$
9. Mercado Interno - Preço Balcão (R\$/sc)	$PB^{R\$/Saca} = 91,00$
10. Relação Mercado Físico x Rio Grande	$Relação^{MFxRGR} = \frac{PB^{Saca}}{PPE^{R\$/Saca}} = \frac{91,00}{99,91} = 0,9108 = 91,08\%$

Fonte: Elaboração própria, com base em Costa e Santana (2018) e Costa (2017).

Observe que em Rio Grande/RS o preço CIF é de R\$ 1.806,50/tonelada, o equivalente a R\$ 108,39/sc, mas para destinar a soja para o mercado externo, via Porto do Rio Grande/RS, existe um custo de aproximadamente R\$ 141,35/t, que equivale a R\$ 8,48/sc. Portanto, ao deduzir o valor de R\$ 4,48/sc do preço de R\$ 108,39/sc, a paridade de exportação passa a ser R\$ 99,91/sc. Neste mesmo dia, 30/04/2020, o preço médio praticado pelo mercado físico em Palmeira das Missões foi de R\$ 91,00/sc, ou seja, estava operando ao nível de 91% do preço de paridade. O percentual de

9% ($\text{Relação}^{\text{MFxRGR}} - 100\%$) representa uma aproximação da soma do lucro bruto das empresas que compram soja no município e das *tradings* que exportam o grão.

Através deste conjunto de equações é possível projetar cenários para diferentes taxas de câmbio, diferentes níveis de preços internacionais e prêmios de exportação. Fazendo isto, destaca-se que uma elevação de um real na taxa de câmbio (R\$ 6,4371/US\$) pode provocar um aumento próximo a R\$ 20,00/saca; da mesma forma, a redução de R\$ 1,00 na taxa de câmbio (R\$ 4,4371/US\$) tende a resultar em decréscimo próximo a R\$ 20,00/saca.

Neste contexto, uma elevação de US\$ 1,00 no bushel de soja, seja em decorrência da elevação das cotações em Chicago o do Prêmio de Exportações em Rio Grande, tende a resultar em um crescimento de aproximadamente R\$ 12,00 na saca de soja. O contrário também é recíproco.

Portanto, conforme é possível observar no Quadro 3, são muitas as variáveis que contribuem para formar a referência de preço no mercado físico Brasileiro, no Rio Grande do Sul e, em específico, em Palmeira das Missões/RS. Porém, as cotações internacionais, a taxa de câmbio e o prêmio de exportação se constituem enquanto as principais variáveis.

Isto comprova que o preço pago ao produtor é derivado de um contexto mercadológico global e local que pode ser analisado sob a perspectiva de três grandes eixos conjunturais: o microeconômico, o macroeconômico e o político-geopolítico, conforme pode ser observado na Figura 1.

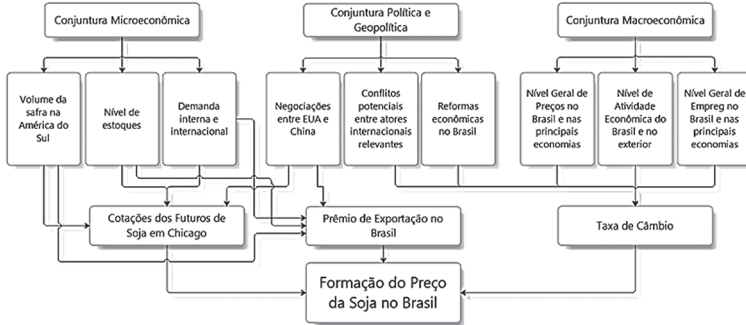


Figura 1. Diagrama de variáveis associadas à formação do preço da soja no Brasil.

Fonte: Elaboração própria, com base em Costa e Santana (2018) e Costa (2017)

As expectativas de oferta, demanda e nível de estoques, bem como os relatórios do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e de centros de análise climática, que geralmente causam impactos nas cotações dos futuros de soja em na Chicago Board of Trade (CBOT) e no mercado físico brasileiro fazem parte da conjuntura microeconômica.

As expectativas sobre acontecimentos políticos de natureza interna e internacional, com potencial para alterar a taxa de câmbio também são importantes, pois os preços no mercado físico brasileiro são diretamente impactados pela variação cambial e compõem o ambiente político e geopolítico (Costa, 2017).

Já, as variáveis de natureza macroeconômica, principalmente associadas as políticas monetárias implementadas pelos Bancos Centrais do Brasil e Estados Unidos, interferem diretamente nas taxas de juros e de câmbio (KRUGMAN, OBSTEFELD, 2010). Portanto, ajudam a explicar o preço da soja no Brasil, que passa pela conversão cambial, do dólar para o real.

Neste processo, o mercado segue a sua dinâmica de funcionamento e em determinados períodos uma variável ou eixo pode exercer maior ou menor influência sobre a formação do preço pago ao produtor brasileiro.

Tendências para o mercado de soja para os próximos anos

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2019), entre os principais produtores internacionais, destacam-se Brasil (34,65% do total), Estados Unidos (31,8%) e Argentina (14,93%), que juntos respondem por aproximadamente 81,38% das 335 milhões de toneladas (Mt) produzidas no ano-safra 2019/2020. Para o mesmo ano, estima-se que o consumo mundial chegue a 355,3 Mt.

Considerando que uma parte significativa do consumo de soja é destinado para a produção de rações, óleo e derivados, o consumo do grão também é relevante nos principais mercados produtores, a exemplo dos Estados Unidos, que esmaga cerca de 17,2% do total mundial, enquanto que Argentina e Brasil possuem Market Share de 14,68% e 13,09% respectivamente (USDA, 2019).

Neste mercado, o Brasil é responsável por 50% das exportações mundiais, enquanto a fatia dos Estados Unidos chega a 35%. A China, responsável por 29,18% do consumo global, importa cerca de 58% do total internacional (USDA, 2019).

Os resultados dos modelos econométricos de tendências e taxas de crescimento mostram que a produção brasileira e norte americana cresceu, em média, a 6,36% e 2,37% a.a. nos últimos anos. Também se destacaram neste quesito, as taxas médias de crescimento da produção de soja no Paraguai e na Índia, de 6,68% e 4,93% a.a. respectivamente (RHODEN, et al, 2020).

Em relação ao consumo, foi possível observar que as taxas médias anuais de crescimento chegam a 18,14% na Rússia, 9,92% na China, 5,30% na Argentina e 4,91% na Índia (RHODEN, et al, 2020).

Diante disto, é possível observar que Índia e Rússia são mercados promissores em médio e longo prazos e podem alcançar maior relevância no mercado global.

Também, Egito, Tailândia e Indonésia devem ser observados como mercados promissores, pois apresentaram taxa média de crescimento anual das importações de soja de 14,75%, 4,81% e 4,94% respectivamente. Entretanto, no curto prazo, o principal foco é a China, que foi responsável por importar 82% do total exportado, em soja, pelo Brasil no ano de 2018.

Por outro lado, é importante ressaltar que estas tendências de evolução da demanda, principalmente, também estão associadas aos avanços tecnológicos na indústria de alimentação, que proporcionaram novas demandas para a utilização de derivados do farelo e do óleo de soja. Neste contexto, Hughes et. al (2011) destacam que no reino vegetal, a proteína de soja é a única disponível em larga escala e de alta qualidade com fácil digestibilidade pelo corpo humano, fato que explica sua ampla procura e utilização em alimentos processados. Também, nos diversos ramos da indústria houve uma ampliação considerável na demanda por derivados de soja, que passou a ser utilizada na composição de aditivos para alimentos, em produtos simulados de carnes, espuma de extintores, produção de antibióticos, desinfetantes, tintas, biocombustíveis, pneus entre tantos outros, conforme pode ser observado na Figura 2.

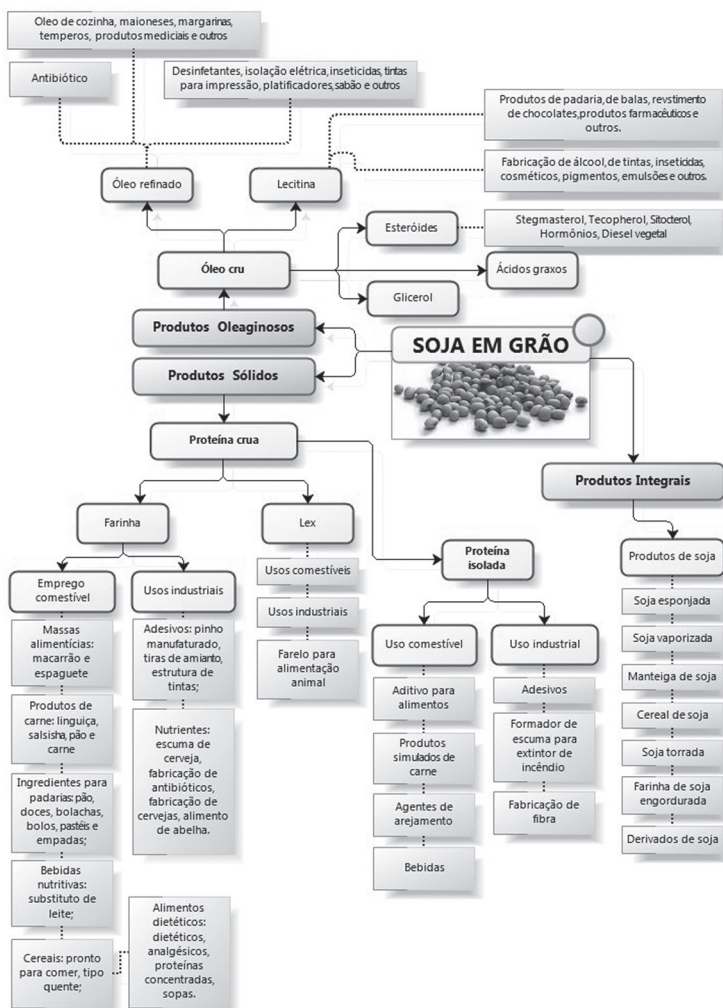


Figura 2. Usos da soja nos diversos ciclos industriais, Fonte: Elaboração com base em Paula e Favaret Filho (1998) e Costa (2012).

Conforme observado na Figura 2, conclui-se que o incremento na oferta de carnes, leite e ovos dependente da soja e do milho. Também, a oferta de diversos alimentos, a exemplo de pão, massas, bolachas, salsichas, linguiças e outros, estão condicionados ao culti-

vo da soja, pois o desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias na indústria de alimentação humana culminaram na separação, preservação e estabilização dos nutrientes dos cereais e oleaginosas, de modo que os elementos nutricionais da soja passaram a viabilizar a produção alimentos nutritivos, consumidos cotidianamente por um considerável contingente populacional (GOODMAN, SORJ, WILKINSON, 1989).

Portanto, por considerar que as tendências de produção e de consumo são positivas e que a soja responde por grande parte da segurança alimentar, o mercado tende a continuar forte e pujante nos próximos anos. Contudo, as oscilações de preços são comuns neste cenário e a rentabilização da atividade dependerá, além dos ganhos de produtividade, de uma boa estratégia de gestão de custos e comercialização da produção.

Considerações Finais

O objetivo deste estudo foi entender a dinâmica que condiciona a formação do preço da soja no Brasil e, em especial, no Rio Grande do Sul.

Identificou-se que existe uma forte relação de transmissão de preços de da CBOT, da taxa de câmbio e do prêmio de exportações para o preço pago ao produtor de soja no Brasil. A partir destes resultados é possível acompanhar a conjuntura do mercado a realizar prognósticos de possíveis cenários que, por sua vez, podem ajudar na elaboração de uma política de comercialização da produção baseada em diretrizes mais coerentes com a gestão de risco da atividade de comercialização agropecuária.

Notadamente, o produtor que conseguir entender a dinâmica de mercado e ampliar a assertividade de suas estratégias de comercialização da produção tende a ter maiores ganhos econômicos em médio e longo prazos, bem como garantir a sustentabilidade dos empreendimentos agropecuários que estão cada vez mais ligados ao profissionalismo e gestão do negócio como um todo.

Por fim, observa-se que, em tendência, o mercado de soja vai crescer mais e o Brasil tenderá a ampliar a sua participação relativa em curto e médio prazos.

Referências

- AGUIAR, D. R. D. Formação de preços na indústria da soja – 1982/1989. 140p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.
- COSTA, N. L. Concentração de mercado e fluxo de exportações da cadeia produtiva da soja no Brasil. 2012. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Rural da Amazônia / EMBRAPA Amazônia Oriental, 2012.
- COSTA, Nilson Luiz. **Boletim Analítico Mercado da Soja**. v.2, n.1 Abr/2018. Doi: 10.13140/RG.2.2.20139.13601. 2018a. Disponível em . Acesso em: 12/fev/2018.
- COSTA, Nilson Luiz. Perspectivas de mercado e importância da conjuntura macroeconômica nacional e internacional para a formação do preço da soja no Rio Grande do Sul. **REVISTA PLANTIO DIRETO**, v. 156, p. 14-21, 2017.
- COSTA, Nilson Luiz; SANTANA, A. C. . Análise do Mercado da Soja: Aspectos Conjunturais da Formação do Preço Pago ao Produtor Brasileiro. **REVISTA PLANTIO DIRETO**, v. 28, p. 20-39, 2018b.
- COSTA, Nilson Luiz; SANTANA, A. C. ; BASTOS, Ana Paula Vidal ; BRUM, Argemiro Luís . Desenvolvimento tecnológico, produtividade do trabalho e expansão da cadeia produtiva da soja na Amazônia Legal. In: SANTANA, A. C.. (Org.). **Mercado, cadeias produtivas e desenvolvimento rural na Amazônia**. 1ed. Belém/PA: UFRA, 2014, v. 1, p. 81-112.
- GOODMAN, David; SORJ, Bernardo; WILKINSON, John. **Da lavoura às biotecnologias: Agricultura e Indústria no Sistema Internacional**. Rio de Janeiro, Campus. 1989.

- HUGHES G. J., RYAN D. J., MUKHERJEA R. , SCHASTEEN C. S. Protein digestibility corrected amino acid scores (PDCAAS) for soy protein isolates and concentrate: criteria for evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2011 Dec 14;59(23):12707-12. Epub 2011 Nov 16. PubMed PMID: 22017752. Disponível em <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf203220v>>. Acesso em 11/09/2012.
- KRUGMAN, P., OBSTEFELD, M. **Economia Internacional: teoria e política**. Revisão técnica: Rogério Mori, Paulo Gala; [tradução Elizer Martins Diniz], 8 ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2010.
- MAFIOLETTI, Robson Leandro. Formação de preços na cadeia agroindustrial da soja na década de 90. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 39, n. 4, p. 9-26, 2019.
- MARGARIDO, Mario A.; TUROLLA, Frederico A.; BUENO, Carlos RF. The world market for soybeans: price transmission into Brazil and effects from the timing of crop and trade. **Nova Economia**, v. 17, n. 2, p. 241-270, 2007.
- MORAES, Mauricio de. **Prêmio de exportação da soja brasileira**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- PAULA, S. R. de; FAVERET FILHO, P. **Panorama do complexo soja**. Rio de Janeiro. BNDES, 1998.
- RHODEN, Angélica Cristina et al. Análise das Tendências de Oferta e Demanda para o Grão, Farelo e Óleo de Soja no Brasil e nos Principais Mercados Globais. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 51, p. 93-112, 2020.
- TYBUSCH, T. M. M. **As Estratégias de Comercialização no Mercado da Soja**. O caso da Cotrijuí-RS. 2003. Mestrado em Agronegócios – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.
- United States Department of Agriculture (USDA). **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>> Acesso em 15 de dezembro de 2019.



PATROCINADORES DIAMANTE



PATROCINADORES OURO



PATROCINADORES PRATA E BRONZE



ISBN 978-65-88473-57-5



9 786589 146957 >