

# **Eficiência de Soja Cultivada em Modelos de Produção sob Sistema Plantio Direto**



**Henrique Pereira dos Santos  
Renato Serena Fontaneli  
Silvio Tulio Spera  
João Leonardo Pires  
Gilberto Omar Tomm**

**Embrapa**



# **Eficiência de Soja Cultivada em Modelos de Produção sob Sistema Plantio Direto**

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

*Presidente*

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

*Ministro*

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto

*Presidente*

Silvio Crestana

*Vice-Presidente*

Alexandre Kalil Pires

Cláudia Assunção dos Santos Viegas

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

*Membros*

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana

*Diretor-Presidente*

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Tatiana Deane de Abreu Sá

*Diretores*

Embrapa Trigo

Aliomar Gabriel da Silva

*Chefe-Geral (Interino)*

Edson Jair Iorczeski

*Chefe-Adjunto de Administração (Interino)*

Claudia De Mori

*Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios (Interino)*

Ana Christina Sagebin Albuquerque

*Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento (Interino)*

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

## **Eficiência de Soja Cultivada em Modelos de Produção sob Sistema Plantio Direto**

*Henrique Pereira dos Santos*

*Renato Serena Fontaneli*

*Silvio Tulio Spera*

*João Leonardo Pires*

*Gilberto Omar Tomm*

Embrapa Trigo  
Passo Fundo, RS  
2005

<b>Embrapa</b>	
Unidade:	CNPT
Valor aquisição:	_____
Data aquisição:	_____
N.º N. Fiscal/Fatura:	_____
Fornecedor:	_____
N.º OCS:	_____
Origem:	Doação
N.º Registro:	LJ 1401

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Trigo

Rodovia BR 285, km 294

Telefone: (54) 311-3444 - Fax: (54) 311-3617

Caixa Postal, 451

99001-970 Passo Fundo, RS

Home page: [www.cnpt.embrapa.br](http://www.cnpt.embrapa.br) - E-mail: [biblioteca@cnpt.embrapa.br](mailto:biblioteca@cnpt.embrapa.br) ex 1

Comitê de Publicações

Beatriz Marti Emygdio, Gilberto Omar Tomm, José Maurício Cunha Fernandes, Luiz Eichelberger, Maria Imaculada Pontes Moreira Lima, Martha Zavariz de Miranda, Sandra Patussi Brammer e Silvio Tulio Spera (Presidente)

Tratamento Editorial: Fátima Maria De Marchi

Capa: Liciane Toazza Duda Bonatto

Ficha Catalográfica: Maria Regina Martins

Foto: Paulo Kurtz

1ª edição

1ª impressão (2005): 400 exemplares

Financiado parcialmente pela Fapergs

*Todos os direitos reservados.*

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

Santos, Henrique Pereira dos.

Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto. / Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Silvio Tulio Spera, João Leonardo Pires, Gilberto Omar Tomm (Org.). - Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2005.

248 p. ; 21 cm.

ISBN 85-7574-014-8

1. Soja - Plantio direto. I. Fontaneli, Renato Serena. II. Spera, Silvio Tulio. III. Pires, João Leonardo. IV. Tomm, Gilberto Omar. V. Título.

CDD: 633.34

© Embrapa Trigo 2005

## **Autores**

**André Luís Thomas**

**Engenheiro Agrônomo**

**Dr./Agronomia**

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Departamento de Plantas de Lavoura**

**Bento Gonçalves, 7712**

**91540-000 Porto Alegre, RS**

**E-mail: andrethomas20@hotmail.com**

**Erivelton Scherer Roman**

**Engenheiro Agrônomo**

**Ph.D./Plantas Daninhas**

**Pesquisador da Embrapa Trigo**

**BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451**

**99001-970 Passo Fundo, RS**

**E-mail: eroman@cnpt.embrapa.br**

**Gilberto Omar Tomm**

**Engenheiro Agrônomo**

**Ph.D./Agronomia**

**Pesquisador da Embrapa Trigo**

**BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451**

**99001-970 Passo Fundo, RS**

**E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br**

Gilberto Rocca da Cunha  
Engenheiro Agrônomo  
Dr./Agrometeorologia, bolsista do CNPq  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: [cunha@cnpt.embrapa.br](mailto:cunha@cnpt.embrapa.br)

Henrique Pereira dos Santos  
Engenheiro Agrônomo  
Doutor em Agronomia/Fitotecnia  
Pesquisador da Embrapa Trigo, bolsista do CNPq  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: [hpsantos@cnpt.embrapa.br](mailto:hpsantos@cnpt.embrapa.br)

Ivo Ambrosi  
Professor  
M.S./Economia  
Universidade de Passo Fundo  
CAMPUS I - BR 285 km 171, Bairro São José  
Caixa Postal 611  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: [ambrosi@upf.tche.br](mailto:ambrosi@upf.tche.br)

João Carlos Ignaczak  
Engenheiro Agrônomo  
M.S./Estatística  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: [igna@cnpt.embrapa.br](mailto:igna@cnpt.embrapa.br)

João Leonardo Fernandes Pires  
Engenheiro Agrônomo  
Dr. em Agronomia/Fitotecnia  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: pires@cnpt.embrapa.br

Leandro Vargas  
Engenheiro Agrônomo  
Dr./Plantas Daninhas  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: vargas@cnpt.embrapa.br

Leila Maria Costamilan  
Engenheira Agrônoma  
M.S./Fitopatologia  
Pesquisadora da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: leila@cnpt.embrapa.br

Osmar Rodrigues  
Engenheiro Agrônomo  
M.S./Fisiologia Vegetal  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: osmar@cnpt.embrapa.br

Rainoldo Alberto Kochhann  
Engenheiro Agrônomo  
Ph.D./Solos  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: rainoldo@cnpt.embrapa.br

Renato Serena Fontaneli  
Engenheiro Agrônomo  
Ph.D./Agronomia, bolsista CNPq  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: renatof@cnpt.embrapa.br

Silvio Tulio Spera  
Engenheiro Agrônomo  
M.S./Agronomia  
Pesquisador da Embrapa Trigo  
BR 285, km 294 - Caixa Postal, 451  
99001-970 Passo Fundo, RS  
E-mail: spera@cnpt.embrapa.br

## Apresentação

O uso do enfoque de sistemas em agricultura, via integração de conhecimentos das mais diversas disciplinas, tem se configurado como a melhor alternativa para entendimento das complexas relações entre ambiente, sociedade e economia, que, por meio de decisões humanas, podem definir o sucesso ou a frustração dos empreendimentos agrícolas.

Este livro, que trata da produção de soja sob sistema plantio direto no Sul do Brasil, é um exemplo de uso do enfoque sistêmico. Abrange desde os fundamentos de manejo da cultura para obtenção de rendimento elevado, passa pelos efeitos sobre características de fertilidade e atributos físicos de solo, analisa os aspectos fitossanitários (doenças e plantas daninhas) inerentes aos sistemas de cultivo de soja e, por último, contempla aspectos ambientais (balanços energético) e econômicos (análise de riscos).

Apesar do caráter livresco, esta obra vai muito além de uma mera compilação de informações disponíveis na literatura. Pode ser vista também, em alguns aspectos, como uma referência original, uma vez que se fundamenta em dados oriundos de experimentos conduzidos pelos próprios autores dos capítulos. E é esse o diferencial maior desta obra: escrita por gente que faz!

Pelas suas peculiaridades e conteúdo, não há dúvida que este livro

vai contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de cultivo de soja no Sul do Brasil.

Aliomar Gabriel da Silva  
Chefe-Geral (Interino)  
da Embrapa Trigo

## Sumário

INTRODUÇÃO .....	17
Considerações preliminares .....	25
Referências bibliográficas .....	29
<b>FATORES PROMOTORES DE RENDIMENTO EM MODELOS DE PRODUÇÃO PARA SOJA</b>	
<i>João Leonardo Fernandes Pires, Gilberto Rocca da Cunha e André Luís Thomas</i> .....	36
Introdução .....	36
Conhecer a cultura: crescimento e desenvolvimento de soja .....	38
Crescimento e desenvolvimento de soja .....	38
Aspectos ecofisiológicos relacionados com rendimento de grãos em soja .....	42
Componentes do rendimento de grãos .....	54
Regionalização da cultura: conhecimento das potencialidades e limitações regionais .....	59
Época de semeadura .....	62

Fertilidade de solo .....	65
Escolha de cultivares .....	67
Arranjo de plantas (população de plantas e espaçamento entre as linhas) .....	68
Referências bibliográficas .....	72

## EFEITO DE MODELOS DE PRODUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE SOJA, SOB PLANTIO DIRETO

<i>Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires e Sílvio Túlio Spera</i> .....	81
Introdução .....	81
Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos de soja .....	81
Efeito de modelos de produção no rendimento de grãos de soja.....	89
Referências bibliográficas .....	100

## EFEITO DE MODELOS DE PRODUÇÃO NA FERTILIDADE DO SOLO, SOB PLANTIO DIRETO

<i>Henrique Pereira dos Santos, Sílvio Túlio Spera, Renato Serena Fontaneli e Gilberto Omar Tomm</i> .....	107
Introdução .....	107
Efeito da rotação de culturas na fertilidade química do solo.....	108
Efeito de modelos de produção na fertilidade química do solo .....	117
Referências bibliográficas .....	132

## EFEITO DE MODELOS DE PRODUÇÃO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, SOB PLANTIO DIRETO

<i>Silvio Tulio Spera, Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Gilberto Omar Tomm e Rainoldo Alberto Kochhann</i> .....	139
Introdução .....	139
Efeito de rotação de culturas nos atributos físicos do solo .....	141
Efeito de modelos de produção nos atributos físicos do solo .....	147
Referências Bibliográficas .....	155

## DOENÇAS DE SOJA CULTIVADA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

<i>Leila Maria Costamilan</i> .....	158
Introdução .....	158
O microclima .....	160
O solo .....	162
O patógeno .....	165
O hospedeiro .....	169
Referências bibliográficas .....	171

## MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DE SOJA SOB PLANTIO DIRETO

<i>Leandro Vargas, Erivelton Scherer Roman e Osmar Rodrigues</i> .....	180
--	-----

Introdução .....	180
Controle de plantas daninhas .....	182
Manejo de plantas daninhas antes da semeadura .....	182
Manejo de plantas daninhas após a semeadura .....	184
Monitoramento .....	184
Métodos de controle de plantas daninhas .....	185
Controle preventivo .....	185
Controle cultural .....	185
Controle mecânico .....	187
Controle químico .....	188
Escolha do herbicida a ser aplicado .....	189
Época de aplicação dos herbicidas .....	190
Aplicações pré-emergentes .....	190
Aplicações pós-emergentes .....	191
Aplicação em pós-emergência precoce .....	193
Aplicação em pós-emergência normal .....	193
Aplicação em pós-emergência tardia .....	194
Aplicação dirigida .....	194
Manejo integrado de plantas daninhas .....	195
Cuidados com os equipamentos no momento da aplicação .....	196
Manejo de áreas com soja resistente ao glifosate .....	197
Dessecação de soja em pré-colheita .....	198
Referências bibliográficas .....	199

## CONVERSÃO E BALANÇO ENERGÉTICO DE MODELOS DE PRODUÇÃO PARA SOJA, SOB PLANTIO DIRETO

<i>Henrique Pereira dos Santos, João Carlos Ignaczak e Renato Serena Fontaneli</i> .....	201
Introdução .....	201
Conversão e balanço energético em sistemas de rotação de culturas para soja .....	202
Conversão e balanço energético em modelos de produção de grãos para soja .....	206
Referências bibliográficas .....	216

## ANÁLISE ECONÔMICA E DE RISCO DE MODELOS DE PRODUÇÃO, SOB PLANTIO DIRETO

<i>Henrique Pereira dos Santos, Ivo Ambrosi e Renato Serena Fontaneli</i> .....	221
Introdução .....	221
Análises econômicas de sistemas de rotação de culturas para soja .....	223
Análises econômicas de modelos de produção de grãos para soja .....	226
Análises de risco de sistemas de rotação de culturas para soja .....	229
Análises de riscos de sistemas de produção de grãos para soja .....	238
Referências bibliográficas .....	243



## INTRODUÇÃO

---

O sistema tecnológico para produzir soja tem evoluído principalmente pela alteração em três fatores de produção importantes: avanço genético, melhoria nas práticas de manejo da cultura e evolução da qualidade do ambiente de produção (representado principalmente pela consolidação do sistema plantio direto). O equilíbrio desses três fatores representa a base para o sucesso no cultivo de soja no sul do Brasil.

Entretanto, algumas vezes, o manejo da cultura vem sendo realizado com uma inversão de prioridades no qual fatores menos relevantes para a formação de lavouras produtivas são considerados primordiais no investimento do produtor e fatores básicos, que realmente são fundamentais para garantir elevado potencial de rendimento de grãos, são esquecidos ou relegados a segundo plano.

É importante assim, resgatar fundamentos básicos de manejo privilegiando práticas promotoras do rendimento de grãos, que embora simples, podem ser empregadas na formação de sistemas para produção mais eficientes do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

No Brasil, existe relativamente pouca informação abordando rotação de culturas sob sistema de produção de grãos. Além disso, a maioria dos trabalhos publicados são incompletos, ou seja, não

consideram o efeito do ano agrícola, no qual todas as espécies contempladas nos modelos de produção devem estar obrigatoriamente presentes, tanto no inverno como no verão (Santos & Reis, 2001).

Para comparação de sistemas de rotação de culturas, de longa duração, vêm sendo estudadas, na Embrapa Trigo, desde 1979, culturas alternativas tanto de inverno como de verão, tais como: trigo, cevada, triticale, aveia branca, aveia preta, ervilhaca, tremoço, serradela, trevo vesiculoso, milho, soja e sorgo. Dentre as opções de verão, soja tem sido, porém, a principal cultura em vários estudos, que envolvem desde o comportamento de espécies no sistema de produção de grãos, até avaliações de reciclagem de nutrientes e do condicionamento físico e químico de solos.

Por outro lado, sistemas de manejo conservacionistas de solo têm sido preconizados, em virtude do não revolvimento do solo e da cobertura morta (Kochhann & Selles, 1991), contribuindo para a retenção de água no solo e redução da erosão hídrica. Um dos fatores imprescindíveis para a introdução e manutenção de sistema de manejo conservacionista é a presença constante de cobertura vegetal para proteção do solo. Nesse caso, torna-se necessário introduzir sistemas adequados de rotação de culturas e sucessão, para gerar cobertura vegetal e para diminuir o ataque de doenças e de pragas, principalmente nas espécies de interesse econômico (Santos et al., 1993).

O sistema de manejo conservacionista que melhor atende a todos esses requisitos é o sistema plantio direto (Denardin & Kochhann, 1993). Nesse caso, as espécies são estabelecidas mediante a mobilização de solo exclusivamente na linha de semeadura, mantendo-se os resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo.

Os resíduos culturais, mantidos na superfície do solo, desempenham importante papel no sistema plantio direto, pois evitam a erosão, conservam nutrientes na solução do solo e a umidade e, também, reduzem a incidência de plantas daninhas (Roman & Didonet, 1990). Esses resíduos podem, porém, ter efeitos negativos sobre o crescimento de culturas, em razão dos efeitos alelopáticos sobre o desenvolvimento de plantas (Almeida, 1988; Santos & Reis, 2001). A alelopátia entre culturas tem despertado interesse agrônômico, especialmente no que diz respeito à definição de modelos de produção ou de rotação/sucessão de culturas sob plantio direto. Trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo têm demonstrado efeitos sobre culturas que podem, ao menos em parte, ser atribuídos a efeitos alelopáticos (Santos & Roman, 2001). Observações apontam que o rendimento de grãos e a estatura de plantas de soja foram prejudicados pelos resíduos de aveia branca, de colza e de linho (Santos & Reis, 1991; Santos & Roman, 2001). Em estudos conduzidos por Santos & Lhamby (1996) e por Santos et al. (1997, 1998), menor rendimento de grãos e menor estatura de plantas de soja foram relacionados à inadequada cobertura de solo proporcionada pelo linho, em relação à aveia branca, à aveia preta, à cevada ou ao trigo.

No que se refere aos sistemas conservacionistas, Edwards et al. (1988), trabalhando com sistema de manejo de solo e rotação de culturas, nos EUA, observaram que soja no primeiro ano de estudo produziu menos sob preparo de solo com cultivo mínimo e sob plantio direto do que sob preparo convencional de solo. Nos anos seguintes ocorreu o contrário, principalmente quando houve escassez de chuvas. Esses autores também verificaram que os sistemas de manejo conservacionista de solo, combinados com rotação milho/soja ou milho/soja/soja, produziram rendimento de grãos mais elevado e consistente.

No trabalho conduzido por Langdale et al. (1990), nos EUA, também com sistemas de manejo de solo, com rotação de culturas, observou-se que a cultura de soja produziu mais sob manejo conservacionista de solo (preparo de solo com cultivo mínimo e plantio direto) e sob rotação de culturas (sorgo/soja) do que quando cultivada sob preparo convencional de solo e sob monocultura. Entretanto, esse aumento no rendimento de grãos de soja foi atribuído pelos autores à quantidade e a distribuição adequada de chuvas.

Ruedell (1995), trabalhando com sistemas de manejo de solo e rotação de culturas na região de Cruz Alta, RS, destacou os efeitos positivos do aumento de rendimento de grãos de soja sob plantio direto, em comparação ao preparo convencional de solo. Em adição, soja em rotação de culturas produziu mais do que soja cultivada em monocultura.

Santos & Reis (1991), conduzindo trabalhos sobre sistemas de rotação de culturas, em Passo Fundo, RS, observaram rendimento de grãos mais elevado para soja cultivada por dois ou três anos consecutivos, intercalada por milho. O menor rendimento de grãos dessa oleaginosa ocorreu sob monocultura.

A partir de 1990, na Embrapa Trigo foram iniciados outros experimentos de longa duração, envolvendo culturas produtoras de grãos (aveia branca, milho, soja e trigo) em rotação com pastagens anuais de inverno (aveia preta, azevém e ervilhaca) e de verão (milheto) ou com pastagens perenes compostas por festuca ou pensacola consorciadas à trevo branco, trevo vermelho e cornichão (Ambrosi et al., 2001; Santos et al., 2001ab), em sistemas integrando lavoura e pecuária.

É importante salientar que, a integração lavoura-pecuária não se

constitui em tecnologia nova, sendo praticada há muitos anos e em vários países (Macedo, 2001). Nos trabalhos sobre o assunto, estão envolvidas tanto pastagens anuais como pastagens perenes de inverno ou perenes de verão com culturas produtoras de grãos (Fontaneli et al., 2000a; Santos et al., 2001a). Na maioria destes trabalhos, espera-se que o sistema de produção misto melhore as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e reduza a ocorrência de pragas, de doenças e de plantas daninhas (Fontaneli et al., 2000b; Santos et al., 2001a; Spera et al., 2004).

Os sistemas de produção compostos de pastagens perenes de gramíneas e leguminosas, além de culturas anuais, podem ser mais eficazes na manutenção da fertilidade de solo (Paladini & Mielniczuk, 1991; Andreola et al., 2000). Nessas situações, as pastagens perenes permanecem ativas por período mais prolongado no solo - as gramíneas desenvolvem sistema radicular extenso e em constante renovação - e os resíduos das leguminosas contribuem com nitrogênio e aumentam a taxa de decomposição, pela baixa relação C/N (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Essa reciclagem e a incorporação de nutrientes podem então aumentar o rendimento de grãos das culturas subseqüentes.

Em trabalhos sobre sistemas de produção mistos, da Austrália e do Uruguai, têm sido relatados aumentos no rendimento de grãos (Macedo, 2001), especialmente para culturas de inverno, como, por exemplo, trigo. Porém, para a cultura de soja, há pouca informação disponível.

A rotação de culturas, deve compor o conjunto de medidas adotadas para manejar e controlar as plantas daninhas nas lavouras. A baixa produção de sistemas agrícolas é resultado de um conjunto de fatores que afetam negativamente a produção. Entre estes

fatores incluem-se a incidência de plantas daninhas que são capazes de reduzir significativamente o rendimento das culturas e, em casos extremos, inviabilizar a colheita.

Em muitas situações o controle de plantas daninhas é considerado um limitador para implantação do sistema plantio direto. O sistema plantio direto altera as características a serem observadas para o controle das plantas daninhas, caracterizando uma nova situação. Entre as principais mudanças estão a impossibilidade do uso da aração, da gradagem e do uso de herbicida que necessitam incorporação mecânica, mediante uso da grade de disco. Além disso, o efeito da cobertura morta sobre a ação do herbicida é um desafio a ser vencido. Essas diferenças fazem com que as recomendações de manejo e controle de plantas daninhas, em áreas sob plantio direto, sejam distintas, em determinados aspectos, daquelas praticadas no modelo convencional de preparo de solo por revolvimento.

Deve-se considerar que um sistema de produção agrícola processa e transforma recursos ambientais e energia, segundo um conjunto de técnicas, com o objetivo de tornar disponíveis ao homem produtos vegetais e animais (De Mori, 1998). Pode-se mensurar o desempenho produtivo desse sistema mediante avaliação do grau de eficiência técnica das transformações energéticas ocorridas no sistema.

A eficiência técnica consiste na habilidade da unidade agrícola em gerar o máximo produto possível para um dado conjunto de insumos e tecnologia sob as condições ambientais em que a mesma se situa (De Mori, 1998). Do ponto de vista agrônomo, a eficiência técnica tem sido avaliada sob o aspecto das transformações energéticas por meio da conversão e do balanço energético (Santos et al., 2000c), o que agrega um referencial

ecológico de longo prazo às análises de eficiência nas transformações de insumos em produtos (De Mori, 1998).

No Brasil, também têm sido realizados trabalhos relacionados à conversão e ao balanço energético entre espécies isoladamente, dos quais destacam-se Quesada et al. (1987), Quesada & Beber (1990) e Monegat (1998). Existem relativamente poucos trabalhos sobre conversão e balanço energético em sistemas de rotação de culturas ou em sistemas mistos, entre os quais encontram-se os de Santos et al. (2000bc; 2001c).

No sistema plantio direto, a integração de agricultura e pecuária é perfeitamente viável mediante rotação de áreas de lavouras e de pastagens (Fontaneli et al., 2000a). Nessas circunstâncias, devem ser tomados cuidados especiais quanto ao manejo de piquetes e de animais, buscando-se evitar compactação de solo e retirada excessiva de fitomassa.

Existem alguns relatos, no Brasil, sobre sistemas de rotação de culturas em produção de grãos, dentre os quais destacam-se: Zentner et al. (1990); Albuquerque et al. (1995); Santos et al. (1993, 1995, 1999); Franchini et al. (2000); Silveira & Stone (2001). Quanto a sistemas de integração de lavoura com a pecuária, porém, evidencia-se apenas o trabalho conduzido por Fontaneli et al. (2000a), entretanto, esse estudo abrange somente pastagens de inverno.

Em relação à análise econômica de sistemas de rotação de cultura em produção de grãos, envolvendo a cultura de trigo, sob plantio direto, salientam-se os trabalhos realizados nos municípios de Cruz Alta, RS (Ruedell, 1995), de Guarapuava, PR (Zentner et al., 1990) e de Passo Fundo, RS (Santos et al., 1999; Fontaneli et al. 2000a). No exterior, em condição de clima temperado, podem ser citados

os trabalhos de Zentner et al. (1991), de Hernáz et al. (1995), de Gray et al. (1997) e de Sijtsma et al. (1998). Estes últimos trabalhos de rotação de culturas são incompletos, porque nem todas as espécies estudadas foram incluídas em todos os anos de ensaio.

A integração de lavoura com pastagens anuais de inverno tem sido indicada porque essa prática agrícola tem sido conduzida mediante rotação de culturas sob sistema plantio direto (Fontaneli et al., 2000b). Contudo, é fundamental estabelecer a rentabilidade da integração da lavoura com a pecuária de leite, nessas mesmas regiões, pois tal atividade requer disponibilidade de pastagens praticamente o ano todo. Além disso, torna-se necessário identificar qual seria o sistema de lavoura + pecuária leiteira mais lucrativo e de menor risco, passível de ser adotado pelos agricultores.

Existem vários métodos de análise da receita líquida que podem ser usados para determinar o risco, em estudos envolvendo experimentos agrícolas (Porto et al., 1982; Ambrosi & Fontaneli, 1994). Entre esses modelos matemáticos, destacam-se a análise da média variância e a análise de risco propriamente dito (distribuição de probabilidade acumulada e dominância estocástica).

Entre os trabalhos com ensaios de longa duração sobre integração de lavoura (aveia branca, milho, soja e trigo) e pecuária (pastagens anuais de inverno: aveia preta e aveia preta + ervilhaca), destaca-se o de Ambrosi et al. (2001), que abrangeu seis anos de duração (1990 a 1995), em sistema plantio direto, na região de Passo Fundo, RS. Nesse estudo, os autores só conseguiram separar os modelos de produção quanto a rentabilidade e ao risco, por meio da dominância estocástica. O sistema mais rentável e de menor risco

foi trigo em rotação com um inverno sem essa gramínea, entre quatro sistemas estudados.

No estudo conduzido por Santos et al. (2000a), somente com lavouras destinadas à produção de grãos (aveia branca, cevada, linho, milho, soja e trigo) e para cobertura de solo e adubação verde de inverno (ervilhaca, serradela e tremoço), durante dez anos (1984 a 1993), sob sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR, o mesmo modelo anterior destacou-se nas três análises efetuadas. Os autores conseguiram, utilizando análise da média variância, da distribuição da probabilidade acumulada e da dominância estocástica da receita líquida, indicar como mais rentável e de menor risco também o modelo de produção composto pela rotação com um inverno sem trigo.

O objetivo da presente publicação é divulgar pesquisa científica desenvolvida para a cultura de soja envolvendo sistemas de produção de grãos e sistema de produção misto (lavoura e pecuária), sob plantio direto. Serão também abordados aspectos de fertilidade de solo e de condicionamento físico de solo, de ecofisiologia, de balanço energético e análise econômica e de risco de alguns modelos de produção de grãos e modelos de produção mistos.

## Considerações Preliminares

A busca incessante por aumentos de rendimento de grãos das culturas agrícolas continua sendo foco de inúmeras pesquisas. As perspectivas para que tal objetivo seja alcançado são cada vez melhores. Isto se deve aos avanços recentes em muitas áreas

ligadas as ciências agrárias como biotecnologia, genética, fisiologia, mecanização, nutrição, fitossanidade e também pelo grande avanço tecnológico constata-se que a troca e geração de informações é muito facilitada por ferramentas como a computação e internet.

Neste cenário, vislumbra-se um futuro promissor para a cultura de soja no Brasil, principalmente se for levada em conta a experiência já gerada no país e as possibilidades, tanto para aumentos de rendimento de grãos como também de melhoria na qualidade da cultura, na sua adaptação para diversos ambientes e para utilização de seus subprodutos nos mais diversos meios.

Quando se fala na obtenção de rendimento de grãos elevado na lavoura pensa-se na necessidade de utilização de alta tecnologia e de custos de produção também elevados. No entanto, a obtenção de níveis de rendimento de grãos superiores a média nacional e/ou de alguns estados pode ser conseguida pela realização do “básico” de forma eficiente. Isto significa realizar uma agricultura com precisão, usando práticas como inoculação, instalação de uma população de plantas correta, arranjo de plantas que proporcione melhor aproveitamento dos recursos do meio com menor competição interespecífica, controle de plantas daninhas de forma eficiente, entre outros.

No Brasil, ao longo de quinze anos foram desenvolvidos vários estudos sobre rotação de culturas ou de modelos de produção de grãos, envolvendo cereais de inverno e culturas de verão, tais como soja e milho. A partir da década de 1990 foram iniciados trabalhos sobre sistemas de produção de grãos denominados mistos, ou seja, destinados à integração de lavoura com pecuária. Na maioria desses trabalhos concluiu-se que os modelos de produção de grãos mais rentáveis e de menor risco são aqueles em que a soja ou o trigo

deveriam retornar a mesma área, após apenas um verão ou um inverno em rotação, mesmo sob sistema plantio direto.

Na avaliação dos atributos químicos e físicos do solo, como a maioria dos modelos era manejado sob plantio direto, verificou-se acúmulo, principalmente na camada superficial, de matéria orgânica do solo e nos teores de cálcio + magnésio, de fósforo e de potássio. Os modelos contendo leguminosas perenes foram mais eficientes no acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo. Nos modelos estudados, não foram observadas diferenças relevantes entre os sistemas denominados mistos e os modelos destinados somente à produção de grãos, em termos de compactação e desagregação do solo. Nos resultados obtidos nesses estudos da Embrapa Trigo, constatou-se que a introdução de bovinos não agravou a compactação, entretanto, a presença de pastagens perenes ou anuais de inverno, não promoveram redução da compactação de solo.

O sistema plantio direto, assim como o preparo convencional de solo, apresentam características diferenciadas, que podem favorecer o desenvolvimento de doenças. Conhecer essas características e saber como manejá-las são informações importantes para os responsáveis técnicos pelas lavouras, a fim de evitar-se danos às culturas. O uso do sistema plantio direto provoca alterações no ambiente agrícola devido, principalmente, à presença de cobertura de restos culturais da cultura anterior na superfície do solo e ao aumento de matéria orgânica. A influência dessa cobertura orgânica no solo sobre fatores físicos, químicos e biológicos é fundamental no estabelecimento de condições favoráveis ou não ao desenvolvimento de doenças. Por isso, o uso do plantio direto não significa, por si só, maior desenvolvimento

de doenças; em algumas situações é usado, inclusive, como medida auxiliar de controle. Entretanto, o plantio direto mal executado poderá causar problemas fitossanitários à cultura de soja, principalmente quando a semeadura for realizada com elevado nível de umidade do solo, quando o solo estiver compactado e quando não se obedecer um esquema racional de rotação de culturas.

As plantas daninhas, espécies vegetais que se desenvolvem onde não são desejadas e competem com as culturas pelos recursos de ambiente (luz, água, nutrientes, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e espaço), desviam a energia do interesse do homem através do processo da competição. A competição é principalmente em situações importantes de baixa disponibilidade de recursos de ambiente e nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Além de reduzir a produção das culturas, as plantas daninhas podem causar outros problemas, como: reduzir a qualidade dos grãos, provocar maturação desuniforme, causar perdas e dificuldades na operação de colheita e servir de hospedeiro para pragas e doenças. Elas também podem liberar toxinas altamente prejudiciais ao desenvolvimento das culturas.

Os modelos de produção que apresentaram a melhor conversão de energia, a melhor rentabilidade e o menor risco a ser oferecido ao produtor seriam aqueles que incluem intervalo de um ano de rotação, tanto para as culturas de inverno como para as de verão, por exemplo: trigo/soja e ervilhaca/milho ou trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho. Tem sido indicado o cultivo tanto de espécies de inverno como de verão, sob sistema plantio direto por ser mais econômico. A rotação de culturas foi importante tanto para as espécies de inverno quanto para as de verão porque viabilizou os pré-requisitos do sistema plantio direto.

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.
- ALMEIDA, F. A. A alelopatia e as plantas. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. (IAPAR. Circular, 53).
- AMBROSI, I.; FONTANELI, R. S. Análise de risco de quatro sistemas alternativos de produção integração lavoura/pecuária. *Teoria e Evidência Econômica*, Passo Fundo, v. 2, n. 3, p. 129-148, 1994.
- AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, 2001.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estudo de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

DE MORI, C. Mensuração do desempenho produtivo de unidades de produção agrícola considerando aspectos agroeconômicos e agroenergéticos. 1998. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; FUNDACEP FECOTRIGO; Fundação ABC; Aldeia Norte, 1993. p. 19-27.

EDWARDS, J. H.; THURLOW, D. L.; EASON, J. T. Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean, and wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v. 80, n. 1, p. 76-80, 1988.

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, 2000a.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; DENARDIN, J. E.; REIS, E. M.; VOSS, M. Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000b. 84 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 6).

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

GRAY, A. W.; HARMAN, W. L.; RICHARDSON, J. W.; WIESE, A. F.; REGIER, G. C.; ZIMMEL, P. T.; LANSFORD, V. D. Economic and financial viability of residue management: an application to the Texas High Plains. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 10, n. 1, p. 175-183, 1997.

HERNÁZ, J. L.; GIRÓN, V. S.; CERISOLA, C. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo no sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A., SELLES, F.; ZENTNER, R. P. Manual de manejo conservacionista do solo para os estudos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; CIDA, 1991. p. 9-20. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

LANGDALE, G. W.; WILSON JR., R. L.; BRUCE, R. R. Cropping frequencies to sustain long-term conservation tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n. 1, p. 193-198, 1990.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

MONEGAT, C. Avaliação multidimensional do desempenho do manejo do solo no sistema do pequeno agricultor. 1998. 144 p. Tese (Mestrado em Agrossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, n. 2, p. 135-140, 1991.

PORTO, V. H. da F.; CRUZ, E. R. da; INFELD, J. A. Metodologia para incorporação de risco em modelos de decisão usados na análise comparativa entre alternativas: o caso da cultura do arroz irrigado. *Revista de Economia Rural*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 93-211, abr./jun. 1982.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C. Energia e mão-de-obra. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 62, p. 21-26, 1990.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. de. Balanços energéticos agropecuários. Uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.

ROMAN, E. S.; DIDONET, A. D. Controle de plantas daninhas no plantio de trigo e soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1990. 32 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 2).

RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; FONTANELI, R. S. Contribuição das culturas de inverno para a receita líquida de sistemas de produção mistos. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 21., 2001, Lages, SC. Resultados experimentais... Lages: UDESC, 2001a. p. 81-83.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 12, p. 175-2183, dez. 1999.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; WOBETO, C. Risco de sistemas de rotação de culturas de inverno e verão, sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 37-42, 2000a.

SANTOS, H. P. dos, FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 4, p. 743-752, 2000b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001b.

SANTOS, H. P. dos, IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Conversão energética e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticales. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2000c.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Efeito de culturas de inverno sobre a soja cultivada em sistemas de rotação de culturas para trigo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Soja: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995/96. Passo Fundo, 1996. p. 153-165. (Embrapa Trigo. Documentos, 28).

SANTOS, H. P. dos, LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2001c.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; SANDINI, I. Efeitos de culturas de inverno e de sistema de rotação de culturas sobre algumas características da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 1, p. 1141-1146, 1997.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 3, p. 289-295, 1998.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 26, n. 5, p. 729-735, 1991.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. In: SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Cap. 1, p. 11-132.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; DERPSCH, R. Rotação de culturas. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPQ; FUNDACEP FECOTRIGO; Fundação ABC; Aldeia Norte, 1993. p. 85-103.

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Efeitos de culturas de inverno e rotações sobre a soja cultivada em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 7., n. 1, p. 59-68, 2001.

SANTOS, H. P. dos; TOMM; G. O., LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SIJTSMA, C. H.; CAMPBELL, A. J.; McLAUGHLIN, N. B.; CARTER, M. R. Comparative tillage costs for crop rotations utilizing minimum tillage on a farm scale. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 223-231, 1998.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I. Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS*, 1990, Passo Fundo. Conservation tillage for subtropical areas: proceedings. Passo Fundo: CIDA; EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 96-116.

ZENTNER, R. P.; TESSIER, S.; PERU, M.; DYCK, F. B.; CAMPBELL, C. A. Economics of tillage systems for spring wheat production in southwestern Saskatchewan. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 21, n. 3/4, p. 225-242, 1991.



# Fatores Promotores de Rendimento em Modelos de Produção para Soja

*João Leonardo Fernandes Pires, Gilberto  
Rocca da Cunha & André Luís Thomas*

---

## Introdução

O ambiente agrícola, em especial o sistema plantio direto consolidado, caracteriza-se por ser complexo e dinâmico, com interação simultânea de inúmeros fatores que favorecem ou impõem restrições ao crescimento e produção de soja.

Trabalhos científicos têm identificado 52 fatores que seriam responsáveis pela definição do crescimento das culturas agrícolas, dentre elas a soja. Na prática, os produtores têm a capacidade de controlar 45 deles, sendo que, para a obtenção de elevado rendimento de grãos, esses 45 itens devem estar em níveis adequados, bem como suas interações terem efeitos positivos. Entre os sete fatores não manejáveis pelos produtores estão: temperatura, radiação, precipitação pluvial, dióxido de carbono e altitude (Tisdale et al., 1985). No entanto, o manejo correto dos fatores controláveis pode ter efeito indireto sobre as características incontroláveis como, por exemplo, por meio da utilização do sistema plantio direto, da rotação/sucessão de culturas, da

suplementação hídrica, da escolha do genótipo mais adequado para cada modelo de produção, da adição de compostos orgânicos ao solo, da semeadura na época que minimize os riscos de perda por estresses, etc.

O sistema produtivo de soja tem evoluído principalmente pela alteração em três fatores de produção importantes: avanço genético, melhoria nas práticas de manejo da cultura e evolução da qualidade do ambiente de produção (representado principalmente pela consolidação do sistema plantio direto). O equilíbrio desses três fatores representa a base para o sucesso no cultivo de soja no sul do Brasil.

O conhecimento detalhado da cultura, a escolha da cultivar, a semeadura na época indicada pelo zoneamento agrícola, a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio, a adubação do solo de forma equilibrada, o arranjo das plantas na lavoura (população de plantas e espaçamento entre as linhas), a rotação de culturas, a identificação da variabilidade dos diferentes fatores de produção, a busca por um solo com características físicas adequadas, a produção de grande quantidade de palha e o manejo correto desses resíduos são algumas das práticas que promovem o rendimento de grãos de soja. Sabe-se que várias outras ações também são importantes, como a eliminação de plantas daninhas, o controle de insetos pragas e de doenças. Mas estas ações nunca vão promover o rendimento de grãos e sim proteger ou garantir o potencial definido pelas práticas promotoras.

Assim, este capítulo abordará aspectos de manejo da cultura de soja enfocando práticas promotoras do rendimento de grãos que podem ser empregadas na formação de modelos de produção mais eficientes do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

## Conhecer a cultura: crescimento e desenvolvimento de soja

### *Crescimento e desenvolvimento de soja*

O entendimento de como o rendimento de soja é determinado durante a ontogenia é fundamental para elevação do potencial de rendimento. O passo inicial para tal entendimento é o conhecimento detalhado dos estádios de desenvolvimento da cultura já caracterizados em vários trabalhos (Fehr et al., 1971; Fehr & Caviness, 1977; Costa & Marchezan, 1982; Ritchie, 1982). Este conhecimento permite identificar o momento no qual, por exemplo, ocorrem períodos críticos quanto à necessidade de água, quando se dá a cobertura máxima do solo pela cultura, como variam as exigências nutricionais durante a ontogenia, etc.

Na seqüência é apresentada a descrição dos principais estádios de desenvolvimento de soja e de eventos importantes que ocorrem em cada estágio.

A semente de soja necessita absorver água no volume correspondente a 50% de seu peso para iniciar o processo de germinação. A emergência (VE) ocorre de 7 a 10 dias após a semeadura, dependendo do vigor da semente, profundidade de semeadura, umidade, textura e temperatura do solo. As reservas de nutrientes dos cotilédones suprem as necessidades metabólicas da plântula por até 7-10 dias após a emergência. Durante esse período, os cotilédones perdem 70% de seu peso seco. A perda de um cotilédone tem pouco efeito sobre a taxa de crescimento da plântula, mas a perda dos 2 cotilédones durante a germinação-

emergência diminuirá o crescimento da plântula e poderá afetar o rendimento de grãos se a estação de crescimento vegetativo não permitir a recuperação da planta. Durante a emergência da plântula ocorre o desenvolvimento do sistema radicular seminal, o desenrolamento das folhas primárias (seminais, com disposição oposta no caule) e o desenvolvimento do meristema apical que dará origem à parte aérea, fazendo com que a plântula passe a absorver nutrientes do solo e produzir fotoassimilados para seu desenvolvimento.

A fase de estabelecimento das plantas é de fundamental importância para obtenção de elevado rendimento de grãos, pois determinará o componente do rendimento número de plantas por área e, conseqüentemente, o manejo de plantas daninhas, estatura e ramificações da planta, risco de acamamento, etc.; bem como determinará, a uniformidade da população, diminuindo a proporção de plantas dominadas que aumentam a competição intra-específica e não contribuem de forma significativa para o rendimento de grãos.

Feita a inoculação da semente com *Bradyrhizobium* na semeadura, os nódulos podem ser visualizados logo após a emergência, entretanto eles serão efetivos na fixação de  $N_2$ , 10 a 14 dias após esse estágio. Não é indicado aplicar fertilizantes nitrogenados para auxiliar o “arranque” (estabelecimento) inicial da planta, porque haverá um efeito prejudicial sobre a nodulação, além do que, as exigências nutricionais são pequenas nessa fase e o N mineral do solo é capaz de suprir as necessidades da plântula entre o exaurimento das reservas cotiledonares e o início da fixação simbiótica.

O crescimento vegetativo da planta ocorre com a emissão de folhas trifolioladas, com disposição alternada e arranjo helicoidal ao longo

do caule, perfazendo em torno de 16 a 20 nós com folhas trifolioladas, sob condições edafo-climáticas adequadas de crescimento. Na inserção (axila) do pecíolo de cada folha com o caule há uma gema axilar meristemática. Sua presença também ocorre nas axilas dos cotilédones e folhas primárias com o caule. A gema axilar pode ficar dormente ou originar estruturas vegetativas (ramos) ou reprodutivas (flores → legumes → grãos), dotando a planta de soja de grande plasticidade morfológica.

O número de ramos desenvolvidos aumenta com a diminuição da população de plantas e com o aumento do espaçamento entre linhas. Geralmente, o maior ramo desenvolve-se a partir de uma gema localizada na parte inferior do caule. Desse ramo podem surgir ramos secundários menores. Os ramos apresentam as mesmas estruturas vegetativas e reprodutivas que o caule.

As gemas axilares das folhas uni e trifolioladas, e dos cotilédones proporcionam à planta de soja grande capacidade de regeneração. Se o ápice do caule for danificado ou quebrado, as gemas axilares remanescentes sairão da dominância apical e produzirão ramos. Caso a quebra da planta ocorra abaixo do nó cotiledonar ela morrerá, pois não há gemas axilares para regenerar a planta abaixo desse nó. O meristema apical do caule apresenta dominância sobre as gemas axilares durante a fase vegetativa de crescimento.

A planta de soja entra na fase reprodutiva devido a indução fotoperiódica. Esta fase compreende o florescimento (R1 e R2), desenvolvimento dos legumes (R3 e R4), enchimento de grãos (R5 e R6) e maturação (R7 e R8).

O florescimento inicia nos nós superiores do caule, com posterior florescimento dos demais nós do caule e dos ramos com defasagem de poucos dias. Essa defasagem, juntamente com a

desuniformidade entre flores dentro dos racemos de cada nó, fazem com que a planta tenha plasticidade para manter o potencial produtivo (número de flores viáveis) sob períodos de estresse (deficiência hídrica, por exemplo). Nesse estágio ocorre rápido acúmulo de matéria seca e nutrientes nas partes vegetativas (folhas, pecíolos, ramos e raízes) da planta, bem como a taxa de fixação de  $N_2$  pelos nódulos atinge seu ápice e vai diminuindo à medida que os estádios reprodutivos se desenvolvem.

A fixação e desenvolvimento de legumes apresentam papel primordial no incremento do rendimento de grãos, pois determinam o número total de legumes por planta, sendo esse o componente mais maleável em soja. Nesse estágio ocorre rápido crescimento do legume, que atinge em torno de 80% de seu tamanho final, e o início do desenvolvimento do grão.

No enchimento de grãos, inicia o período de rápido acúmulo de matéria seca e nutrientes nos grãos, em função da planta atingir seu máximo índice de área foliar e desenvolvimento de raízes. Também, acelera-se a redistribuição de nutrientes, carboidratos e compostos nitrogenados, provenientes da senescência das folhas, ramos e caule que serão destinados aos grãos. No final desse estágio as folhas começam a amarelar e a cair, inicialmente na parte inferior da planta.

A maturação fisiológica do grão (R7) ocorre quando o acúmulo de matéria seca no mesmo termina, estabelecendo o rendimento de grãos. Nesse estágio o grão perde sua coloração verde, apresenta em torno de 60% de umidade e contém todas as estruturas para originar uma nova planta. A partir daí, todas as folhas caem, o caule, ramos, legumes e grãos vão perdendo umidade, atingindo a coloração característica de estrutura madura de cada cultivar. A maturação de colheita (R8) ocorre quando os grãos apresentam

menos de 15% de umidade.

A soja apresenta três tipos de crescimento: determinado, indeterminado e semideterminado. Plantas de tipo determinado caracterizam-se por apresentar paralisação do crescimento após o florescimento (tanto no caule como nos ramos). O florescimento e desenvolvimento de legumes e grãos ocorre praticamente ao mesmo tempo em toda a planta e apresenta racemo com muitos legumes no nó terminal. Já a soja de tipo indeterminado, até o florescimento, apenas a metade da estatura final da planta é formada (apresentando grande crescimento após esse estágio), o florescimento é escalonado, ocorrendo de baixo para cima da planta (podendo haver legumes bem desenvolvidos na base e flores no topo), as plantas continuam crescendo e ramificando juntamente com a formação de legumes e enchimento de grãos, e o nó terminal apresenta poucos legumes. Existem também, cultivares de tipo semideterminado, que apresentam características tanto do tipo determinado como do indeterminado (Neumaier et al., 2000).

### *Aspectos ecofisiológicos relacionados com rendimento de grãos em soja*

A partir do conhecimento prévio da planta de soja e dos principais eventos que ocorrem durante o ciclo de vida, torna-se possível manejá-la para assegurar elevado potencial de rendimento. O primeiro fator de importância a ser considerado no manejo é o comprimento da estação de crescimento disponível para cultivo. Nesse sentido, o Brasil e, especificamente as principais regiões produtoras de soja, têm delimitações de sua estação de crescimento impostas pela disponibilidade hídrica (como em Mato Grosso e

Mato Grosso do Sul) e pela temperatura (como ocorre no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná). Estas limitações já estabelecem um teto de rendimento. Nesse sentido o sistema plantio direto tem proporcionado um melhor aproveitamento da estação de crescimento, pela possibilidade de utilização do sistema colhe-planta, sem a necessidade de preparo prévio da área.

Com uma estação de crescimento limitada, a soja deve ser posicionada a fim de que os recursos ambientais sejam utilizados da melhor maneira possível. Principalmente, adequado estabelecimento (importância de temperatura e umidade adequada), disponibilidade de água no florescimento e enchimento de grãos e período relativamente seco na colheita, devem ser buscados. Para posicionar a cultura com este objetivo é preciso conhecer os fatores que determinam o crescimento e desenvolvimento de soja, com principal ênfase no fotoperíodo e sua interação com a temperatura.

A planta de soja tem a capacidade de “medir” o comprimento do período de luz e escuro (fotoperíodo) e responder a variações nesse fator. O mais importante, em fotoperiodismo, é o comprimento da noite (que varia de acordo com a localização geográfica e com a época do ano). A soja é uma planta que precisa de noites longas para florescer, fazendo isso somente, ou mais rapidamente, quando recebe iluminação por um período inferior a certo número de horas por dia. Esse número de horas varia com a cultivar e é chamado de fotoperíodo crítico. Assim, para que a planta floresça, é necessário que ocorra um fotoperíodo mais curto que o fotoperíodo crítico (Costa, 1996). Geralmente, se o fotoperíodo está abaixo do crítico, as cultivares florescem 20 a 30 dias após a emergência. Esse período de tempo é requerido para que as plantas sofram as mudanças fisiológicas (maturidade para florescer) necessárias para

que haja a indução a floração, sendo denominado “período juvenil”. Não pode ser desconsiderada também a interação entre fotoperíodo e temperatura. Cultivares que têm menor fotoperíodo crítico (tardias) exigem maior quantidade de soma térmica para florescer.

As respostas fotoperiódicas de soja têm estreita ligação com o ciclo de cultivares e com época de semeadura (fatores determinantes para a obtenção de elevado rendimento). Cada cultivar tem um fotoperíodo crítico abaixo do qual está apta a florescer, assim uma cultivar precoce irá florescer antes de uma tardia, quando semeadas na mesma época e terá um período vegetativo menor (Fig. 1).

O atraso na época de semeadura, por modificar o fotoperíodo (e também a temperatura) ao qual a soja estará exposta, pode causar redução no período vegetativo da soja se considerada uma mesma cultivar semeada em diversas épocas numa mesma latitude (Fig. 2).

Tendo em vista que a cultivar precoce apresenta fotoperíodo crítico maior que as cultivares tardias (Fig. 1), sua época de semeadura é mais restrita dentro da época indicada pela pesquisa para uma mesma latitude. A semeadura no final de setembro/início de outubro faz com que o fotoperíodo crítico seja alcançado no final da primeira quinzena de outubro. Já semeaduras em novembro e segunda quinzena de dezembro fazem com que o fotoperíodo crítico seja alcançado no início de janeiro. Portanto, a semeadura de uma cultivar precoce tanto no final de setembro/início de outubro como na segunda quinzena de dezembro restringe o crescimento vegetativo (Fig. 2), o que irá comprometer o rendimento de grãos.

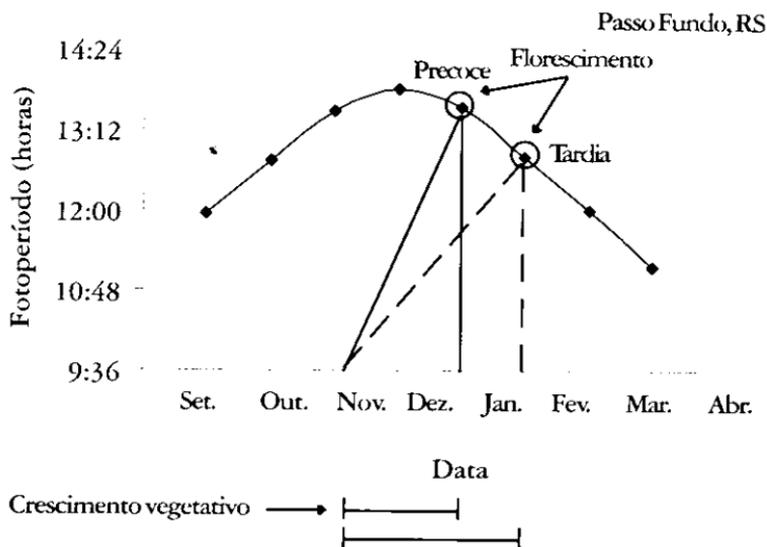


Fig. 1. Representação da duração do período vegetativo (VE a R1) de uma cultivar de soja precoce e outra tardia com mesma época de semeadura.

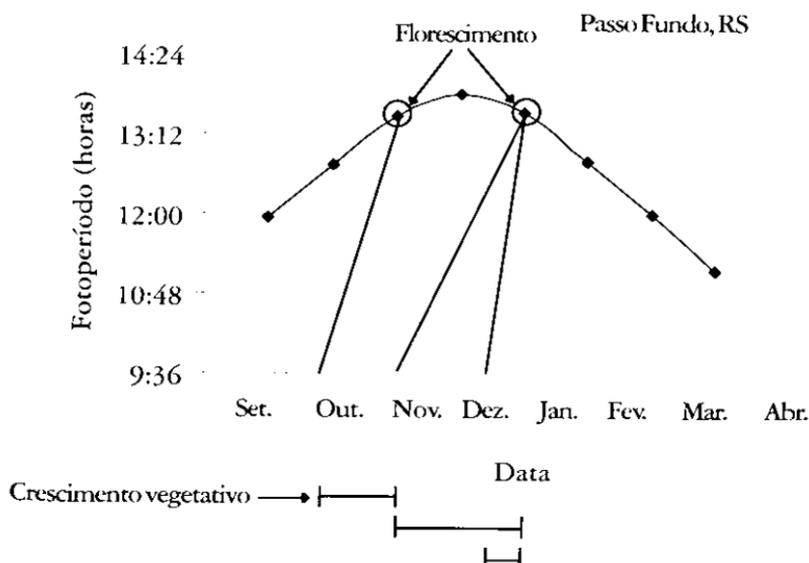


Fig. 2. Representação da duração do período vegetativo (VE a R1) de uma cultivar de soja precoce semeada em três épocas.

Apesar do fotoperíodo ter forte influência sobre o florescimento de soja, também há uma interação com a temperatura do ar durante o ciclo de desenvolvimento da planta. Isto faz com que uma cultivar semeada em três épocas distintas, no período indicado para a cultura, não tenha a mesma época de florescimento (Tabela 1). À medida que se retarda a semeadura, o período vegetativo diminui em função da temperatura do ar ser mais elevada.

Tabela 1. Representação da mudança no período vegetativo da cultivar de soja IAS 5 (precoce e tipo determinado) com a modificação na época de semeadura. EEA/UFRGS, Porto Alegre, RS, safra 2004/05.

Data semeadura	Data florescimento	Emergência- florescimento (dias)	Semeadura- florescimento (dias)
07/10	20/12	67	74
05/11	10/01	60	67
06/12	31/01	51	58

Trabalhos experimentais realizados no início do século passado nos Estados Unidos da América, classificaram grupos de cultivares de soja de acordo com a reação ao fotoperíodo. Foram agrupadas cultivares em 10 (dez) classes de maturação, de 00 a VIII, sendo que a faixa de maturação dentro de um mesmo grupo varia de 10 a 15 dias. Cultivares do grupo 00 induzem a formação de flores com fotoperíodos longos, sendo utilizadas nas maiores latitudes. As cultivares adaptadas as menores latitudes têm exigência em

fotoperíodo menor e pertencem aos grupos superiores. Em latitudes como as do Rio Grande do Sul, as cultivares são classificadas dentro dos grupos VI a VIII, sendo as primeiras mais precoces e as últimas mais tardias. As primeiras cultivares utilizadas no RS pertenceram aos grupos V - Hill, Dare, VI - Lee, Hood, Davis, Ogden, VII - Bragg, Ransom e VIII - Hardee, Hampton (Mundstock & Thomas, 2005).

Para que seja entendida a relação entre a resposta fotoperiódica da planta e o potencial de rendimento, é preciso que se saiba que duração normal mínima do sub-período emergência-floração, para obtenção de rendimento elevado, é de 55-60 dias. Assim, quando este período é menor, ocorre diminuição na estatura da planta, no número de nós, no número de ramos, na área foliar e na inserção dos primeiros legumes. A formação do número de nós do caule, característico de cada cultivar, bem como do comprimento dos entre-nós é dependente de uma estatura mínima de planta. Nesses nós irão ser formadas as estruturas reprodutivas e também os ramos, responsáveis pela formação de novos pontos para a formação de flores e legumes. Se a estrutura de planta é reduzida em demasia pelo encurtamento do período vegetativo, também os locais para aparecimento de estruturas reprodutivas são minimizados e, por conseguinte, o potencial de rendimento da lavoura será menor (Costa, 1996).

A época de semeadura que proporciona sessenta dias de duração do subperíodo emergência-florescimento pode ser estimada se são conhecidos a duração dos dias e o fotoperíodo crítico da cultivar (Costa, 1996). Em trabalho com esta perspectiva, Rodrigues et al. (2001) obtiveram  $r^2$  superiores a 0,77 em todos os genótipos avaliados, mostrando elevada significância entre as datas de florescimento estimadas (a partir de um modelo que utilizou

temperatura e fotoperíodo) e observadas. A previsão da data de florescimento é importante, pois fornece indicações sobre como manejar a cultura para escapar de períodos de estresse característico em algumas regiões de cultivo de soja.

O encurtamento no período vegetativo proporcionado pelo atraso na época de semeadura ou posicionamento inadequado de cultivares pode reduzir o potencial produtivo da planta. Como relatado anteriormente, a maioria das cultivares em cultivo no Brasil são de tipo determinado, com a maior parte de seu crescimento ocorrendo no período vegetativo (VE – R1). Se este período for encurtado, ocorre limitação na formação de uma estrutura de planta produtiva. Problemas relacionados a falta de adaptação de cultivares frente ao fotoperíodo estão bem presentes, sendo exemplificadas pelas cultivares transgênicas trazidas ilegalmente para o Sul do Brasil. Grande parte desse material genético foi desenvolvido para outras latitudes, não tendo adequada adaptação às latitudes de cultivo (devido ao fotoperíodo) do Brasil e produzindo lavouras de baixo potencial produtivo.

O entendimento do comportamento da soja em resposta ao fotoperíodo e a manipulação de fatores como período juvenil, foram pontos fundamentais para a expansão da cultura para baixas latitudes no Brasil (Spehar, 1995).

Além das respostas fotoperiódicas em soja, é importante compreender como a cultura aproveita a radiação incidente, principal fonte de energia responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> e, por conseguinte, da produção de metabólitos importantes para o rendimento de grãos.

A produção da planta de soja é dirigida pela fotossíntese. Os elementos chaves do sistema são: i) a interceptação da radiação

fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm); ii) uso desta energia na redução de CO<sub>2</sub> e outros substratos; iii) incorporação de assimilados para novas estruturas da planta (biossíntese e crescimento); e iv) manutenção da planta como unidade viva. Assim, obter rendimento elevado é conceitualmente simples – maximizar a extensão e duração da interceptação da radiação solar; usar a energia capturada em fotossíntese eficiente; partição de novos assimilados na direção que traga ótimas proporções de folha, ramos, raízes e estruturas reprodutivas, e mantê-las com custo mínimo. Entretanto, em detalhe, os processos são complexos. O modelo de partição é particularmente importante. O rendimento da cultura compreende somente a porção de fitomassa que é acumulada durante o ciclo. Sistemas efetivos de dossel e raízes (incluindo disposição das folhas e ramos), por exemplo, geralmente precisam ser estabelecidos antes do início do período reprodutivo. Além disso, o custo de manutenção aumenta com o acúmulo de fitomassa vegetativa durante a estação. Isto porque a cultura está à mercê de variações espaciais e temporais, espaçamento de plantas, suprimento de água e nutrientes, e ocorrência de insetos pragas e doenças. A flexibilidade na morfogênese e aclimação nos sistemas fisiológicos é um requerimento chave para atingir performance alta e durável (Loomis & Amthor, 1999).

A maximização do rendimento de soja só será possível em áreas de plantio direto consolidado, onde a disponibilidade de água no solo será maior, o que resultará na solubilização de mais nutrientes, que serão absorvidos e metabolizados pelas plantas, formando mais área foliar, mais fotossíntese e, como consequência, maior exportação de cadeias carbonadas para os nódulos, o que aumentará a fixação de nitrogênio, formação de maior quantidade de proteínas, resultando em maior teor de clorofila, maior fixação de carbono e redistribuição de reservas para toda a planta aumentando

o vigor e, por via de consequência, dando origem, constantemente, a novos ciclos favoráveis de crescimento.

Não se pode perder de vista, também, que plantas mais vigorosas possuem metabolismo mais intenso, resultando na exsudação de maior quantidade de substâncias de melhor qualidade, que serão liberadas para a solução do solo e que vão influir favoravelmente na microflora e microfauna que habitam este ambiente, resultando na melhoria de todas as condições da rizosfera, o que irá influenciar favoravelmente o metabolismo das plantas, fechando, assim, o ciclo. Estes ciclos irão se repetindo e qualificando cada vez mais o microambiente produtivo, dando lugar ao surgimento de condições favoráveis para a expressão do potencial de rendimento das cultivares. O manejo racional da lavoura se constitui de um conjunto interminável de interações favoráveis, facilitando a expressão do potencial de rendimento de grãos, aproximando-o do rendimento potencial teórico (Costa, 2002).

Em estudo realizado na Estação Experimental de Taquari, Berlatto et al. (1986) registraram durante cinco anos a evapotranspiração máxima de soja (ET<sub>m</sub>), evidenciando maiores valores durante o período compreendido do início do florescimento até o início do enchimento de grãos (média de 7,5 mm/dia). Para todo o ciclo a ET<sub>m</sub> média foi de 6,1 mm/dia (Tabela 2).

Segundo Matzenauer et al. (1998), trabalhando com dados da região do Planalto Médio, do estado do Rio Grande do Sul, verificaram que a evapotranspiração média para o ciclo completo de soja variou de 664 mm na época de semeadura de dezembro, em Cruz Alta, a 930 mm na época de semeadura de outubro, em Júlio de Castilhos, sendo o maior consumo de água evidenciado na época de semeadura de outubro, seguida da época de novembro e com menos consumo em dezembro. Observaram também, a

ocorrência de deficiências hídricas médias de 181 mm a 344 mm durante todo o ciclo. Estes estudos são importantes para o ajustamento da época de semeadura em função das disponibilidades hídricas do ambiente de cultivo, bem como, para o planejamento da suplementação hídrica por irrigação (Berlato et al., 1992).

Tabela 2. Evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) em diferentes subperíodos do ciclo de soja.

Subperíodo de desenvolvimento*	Duração média (dias)	ET <sub>m</sub> total ----- mm -----	ET <sub>m</sub> diária
S – V2	17	46,0	2,7
V2 – R1	42	264,6	6,3
R1 – R5	40	300,0	7,5
R5 – R7	38	216,6	5,7
Ciclo	137	827,2	6,1

\*S – semeadura; V2 – primeira folha trifoliolada desenvolvida; R1 – início do florescimento; R5 – início do enchimento de grãos; R7 – maturação fisiológica.

Fonte: Berlato et al. (1986).

O impacto das características climáticas não adequadas sobre o crescimento e desenvolvimento de soja e seus reflexos no rendimento de grãos vêm sendo foco de pesquisas envolvendo áreas como agrometeorologia, ecofisiologia, manejo e práticas culturais, anatomia, morfologia, entre outras; interessadas na identificação dos reflexos das condições de estresse abiótico sobre a cultura e dos mecanismos utilizados pela soja na tentativa de suplantarem tais

limitações.

Os efeitos da deficiência hídrica sobre o potencial de rendimento de soja vão depender da intensidade, duração, época de ocorrência e interação com outros fatores determinantes do rendimento de grãos, fotossíntese, respiração, crescimento, absorção e transporte de nutrientes, bem como, das modificações enzimáticas e alterações hormonais que afetam vários outros processos na planta.

A soja é tolerante a deficiência hídrica, devido ao seu período de florescimento ser longo, permitindo que escape de curtos períodos de seca, compensando a perda de flores ou legumes, com o aparecimento de flores mais tardias durante o período de condições adequadas de umidade do solo (Mota, 1983).

No entanto, a deficiência hídrica submete a planta de soja à estresse que se manifesta com plantas de pequena estatura, folhas pequenas e murchas, entrenós curtos; redução na taxa de crescimento, no índice de área foliar, na taxa de expansão e duração da área foliar, na atividade fotossintética, na fixação de nitrogênio, no metabolismo da planta, e, conseqüentemente, no rendimento de grãos (Confalone et al., 1998; Desclaux et al., 2000; Neumaier et al., 2000). Períodos secos durante a fase reprodutiva causam reduções drásticas no rendimento, pois proporcionam aceleração da senescência foliar, maior aborto de flores e legumes, menor período de florescimento, menor período de enchimento de grãos, menor número de grãos por legume e diminuição da qualidade de grãos (De Souza et al., 1997; Sionit & Kramer, 1977; Confalone & Dujmovich, 1999; Desclaux et al., 2000; Neumaier et al., 2000).

Algumas estratégias para prevenir maiores impactos da deficiência hídrica podem ser citadas. A seleção de genótipos que armazenam significativa quantidade de fotossintatos mobilizáveis durante o

início do período reprodutivo é uma possibilidade. Evitar a senescência precoce de folhas, com decréscimo na capacidade fotossintética, pode ser outra estratégia (Boyer, 1996). Nesse sentido a soja tem a capacidade de efetuar o armazenamento de proteínas de armazenamento vegetativo (VSP) durante o período vegetativo, possibilitando a translocação destas reservas para o grão durante o período reprodutivo. Estas, podem compensar, mesmo que em parte, possíveis problemas de deficiência hídrica durante o período reprodutivo.

A identificação e compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são fundamentais para o desenvolvimento de novas cultivares comerciais mais tolerantes ao déficit hídrico. No entanto, a tolerância das plantas à seca não é uma característica simples de ser entendida, pois envolve características que trabalham isoladamente ou associadas para evitar ou tolerar períodos de estresse hídrico (Nepomuceno et al., 2001).

Todas as mudanças de ordem fisiológica, morfológica e de desenvolvimento têm base genética. Por conseguinte, genótipos que diferem em tolerância ao déficit hídrico devem apresentar diferenças qualitativas e quantitativas em expressão gênica. Exemplificando: uma resposta fisiológica específica ao déficit hídrico representa a combinação de eventos moleculares prévios, que foram ativados pela percepção do sinal de estresse. Compreender como esses eventos são ativados/desativados e como interagem será essencial no desenvolvimento de novas cultivares mais tolerantes a períodos de seca (Nepomuceno et al., 2001).

Existem inúmeras respostas moleculares/fisiológicas ao estresse por deficiência hídrica. Entre elas pode-se destacar: ajuste osmótico; proteínas LEA; proteínas de choque térmico; prolina; aquaporinas; ácido abscísico e açúcares (Nepomuceno et al., 2001).

Convém salientar que o estresse por deficiência hídrica, em nossas condições de cultivo, vem acompanhado por temperatura elevada e, conseqüentemente, pela formação de compostos oxidativos altamente reativos e tóxicos que são capazes de danificar as células vegetais (Apel & Hirt, 2004; Mittler et al., 2004). Então fica difícil de separar, com certeza, as respostas metabólicas normais de desenvolvimento da planta das respostas devido ao estresse principal ou de estresses principais de secundários. Além do que, a resposta metabólica de uma planta submetida ao estresse de deficiência hídrica com calor é diferente da incidência de cada um desses estresses isoladamente (Rizhsky et al., 2004).

### *Componentes do rendimento de grãos*

O rendimento de grãos de soja é formado pelo somatório de “componentes do rendimento”. Os componentes primários são: número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso do grão (expresso geralmente em peso de 100 grãos).

Dentre os componentes citados o número de plantas por área é o que apresenta maior possibilidade de controle. O número de grãos por legume, dentre os demais componentes, é o que apresenta menor variação. Isso demonstra a busca de plantas com produção de, em média, dois grãos por legume. No entanto, existe variabilidade entre cultivares para produção de legumes com 0, 1, 2 e 3 grãos. Raras vezes são observados legumes com 4 grãos.

O peso do grão representa o tamanho do grão e, portanto, apresenta valor característico de cada cultivar (grãos maiores ou

menores). Isto não impede que esse componente varie dependendo das condições ambientais e de manejo às quais a cultura seja submetida. Valores extremos desse componente podem ser exemplificados por trabalhos de Rambo et al. (2003), no qual o peso de 100 grãos da cultivar BRS 137 (17,1 g considerado característico da cultivar. Segundo Reunião (2004) foi de 19 g quando recebeu irrigação e de 15,6 g quando não irrigada.

O componente do rendimento mais plástico é o número de legumes por planta.

O potencial de rendimento representado pelos legumes e sua possibilidade de variação em função das condições edafo-climáticas e de manejo, são determinados pelo número de flores produzidas pela soja e sua distribuição temporal durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Segundo Costa & Marchezan (1982), as flores podem ser produzidas desde o estádio R1 até o R7 (dependendo da cultivar), o que proporciona à soja uma grande capacidade de modular o processo de fixação de flores e legumes em consonância com as condições disponibilizadas à cultura. Para se ter uma idéia da capacidade produtiva representada por flores e legumes, trabalhos conduzidos por Ventimiglia et al. (1999), Pires et al. (2000), Maehler et al. (2003) e Rambo et al. (2004) (Tabela 3), têm mostrado que a soja teria flores suficientes para produzir mais de 22 toneladas de grãos em determinadas condições. No entanto, essa capacidade é limitada por fatores de ambiente, de manejo e da própria planta (estrutura da planta, capacidade fotossintética, capacidade de absorção de água e nutrientes, competição temporal entre as estruturas vegetativas e reprodutivas por fotoassimilados, nutrientes, água, etc.).

O número de legumes por planta ou área é considerado o componente do rendimento mais importante quando se busca aumentos no potencial de rendimento. Isso se deve a grande faixa

de variação que pode ser obtida neste componente, o que garante parte da plasticidade fenotípica da soja. Esse comportamento se deve ao fato de que a quantidade de legumes é dependente da quantidade de flores produzidas e fixadas durante o período reprodutivo da cultura. Portanto, a soja aborta até 80% das flores que produz (Hanssem & Shibles, 1978; Marchezan & Costa, 1983). Isto evidencia um grande potencial que pode ser alvo de estudos e de possibilidades de aumento no potencial de rendimento.

Tabela 3. Rendimento de grãos de soja se todas as flores presentes em R2 (florescimento) e todos os legumes presentes em R5 (início do enchimento de grãos) se transformassem em legumes ao final do ciclo e produzissem grãos. EEA/UFRGS, 1995 a 2001.

Local/safra	Potencial de rendimento		Fonte
	R2 (kg/ha) <sup>1</sup>	R5 (kg/ha) <sup>2</sup>	
Eldorado do Sul, RS/1995	18.000	10.000	Ventimiglia et al. (1999)
Eldorado do Sul, RS/1997	15.007	10.282	Pires et al. (2000)
Eldorado do Sul, RS/1999	15.295	12.325	Maehler et al. (2003)
Eldorado do Sul, RS/2001	-	13.562	Rambo et al. (2004)

<sup>1</sup> Rendimento que seria obtido se todas as flores presentes em R2 (florescimento) se transformassem em legumes e chegassem a maturação.

<sup>2</sup> Rendimento que seria obtido se todos os legumes presentes em R5 (início do enchimento de grãos) chegassem a maturação.

Além dos componentes primários do rendimento, a soja apresenta uma série de componentes secundários do rendimento que envolvem desde características morfológicas e anatômicas como

distribuição de vasos condutores, número de nós, quantidade de ramificações, até características fisiológicas como taxa fotossintética e respiração de crescimento. No entanto, os componentes secundários do rendimento acabam tendo efeito sobre os componentes primários, podendo ser medidos indiretamente por meio dos componentes primários.

Outra questão sobre componentes do rendimento de soja que merece destaque é sua distribuição temporal durante a ontogenia e a sobreposição da definição de componentes em determinados momentos do ciclo. Isto fica evidenciado na Fig. 3, na qual observa-se que pode-se ter a determinação de três componentes do rendimento (número de legumes, grãos por legume e peso do grão) de forma simultânea.

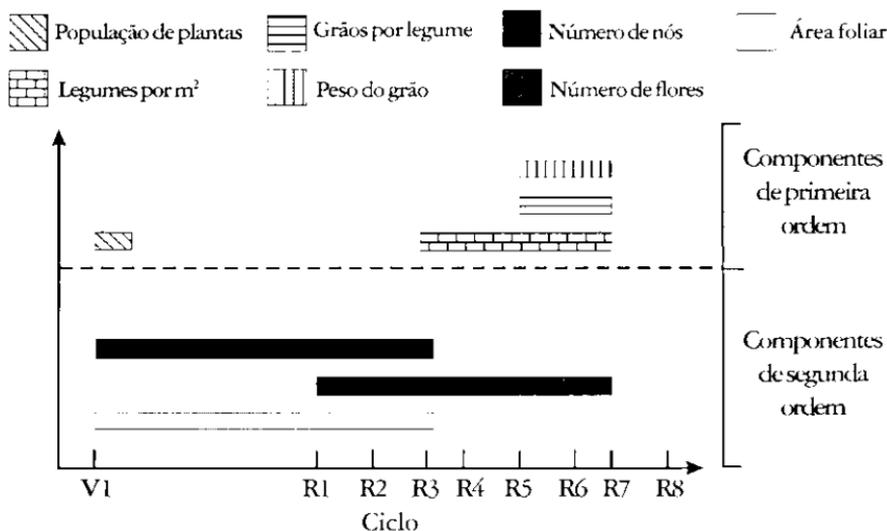


Fig. 3. Representação esquemática da definição dos componentes do rendimento de primeira ordem e de alguns componentes de segunda ordem durante o ciclo de desenvolvimento de uma cultivar de soja de tipo determinado.

O conhecimento dos componentes do rendimento é importante pois muitas práticas de manejo têm efeitos diretos sobre os componentes e são aplicadas em diferentes momentos do ciclo da cultura nos quais estes componentes estão sendo definidos. Assim, o entendimento de como o rendimento de grãos é formado e como isso pode ser manejado de forma positiva, é o primeiro passo para a busca de lavouras mais produtivas.

A obtenção de rendimento elevado em soja está fundamentada, também, na busca, de um padrão de planta individual com elevado potencial de rendimento. Em seguida, que essas plantas, quando em comunidade, devem transformar esse elevado potencial individual em uma população de plantas adaptada as condições edafoclimáticas da região, com competição intra-específica mínima e competição interespecífica elevada, que seja compatível com as práticas culturais empregadas, que maximize a associação simbiótica planta-*bradyrhizobium*, e que, acima de tudo, mantenha sua elevada plasticidade fenotípica. De certa forma essa planta tem sido criada com sucesso pelos programas de melhoramento brasileiros de soja e disponibilizada ao produtor.

Esse modelo de comunidade eficiente pode ser buscado e avaliado na lavoura (como indicativo de lavouras com elevado potencial), se conhecidas algumas características de planta e de comunidade que representem tal capacidade produtiva.

Revisando-se a literatura, identificou-se algumas características de importância (“ideotipo de planta ou comunidade”) que poderiam ser consideradas, como metas, tanto para programas de melhoramento, como para avaliações de lavouras, embora apresentem uma margem de variação dependendo das condições de cultivo de soja e da experiência de técnicos e produtores.

Entre elas estão:

- fotoperíodo crítico ou período juvenil que induzam a planta a entrar na fase reprodutiva com 65 cm ou mais de estatura;
- ponto de inserção dos primeiros legumes igual ou superior a 10 cm;
- resistência às doenças, aos insetos pragas e aos nematóides;
- resistência ao acamamento de plantas e à deiscência precoce de legumes;
- considerável qualidade fisiológica da semente e vigor no estabelecimento das plantas;
- adaptação às condições locais de ambiente e sistema agrícola utilizado na região produtora;
- elevada capacidade de extração de fósforo;
- tolerância a deficiência e excesso hídricos;
- tolerância a acidez e a níveis tóxicos de alumínio e manganês no solo;
- necessidade de produzir 500 g/m<sup>2</sup> de matéria seca até o estágio R5 (início do enchimento de grãos); e
- ser eficiente na simbiose com *Bradyrhizobium*.

Regionalização da cultura: conhecimento das potencialidades e limitações regionais

Ambiente é definido como a agregação de todas as condições externas que influenciam a vida e desenvolvimento de um

organismo. No que se refere a plantas, os mais importantes são a temperatura, disponibilidade hídrica, radiação solar, composição da atmosfera, estrutura do solo e composição do ar do solo, reações do solo, fatores bióticos, suprimento de elementos minerais (nutrientes) e ausência de substâncias restritivas ao crescimento (Tisdale et al., 1985).

Em soja, um dos fatores determinantes da distribuição da cultura em termos geográficos e da definição de seu potencial de rendimento é a disponibilidade hídrica. Esse fator é dependente de várias características como tipo de solo, sistema de cultivo, e, principalmente, do regime de chuvas da região.

No sul do Brasil, as áreas em que a soja tem se destacado por apresentar maior rendimento de grãos, são o nordeste do Rio Grande do Sul, parte das regiões norte e sul de Santa Catarina e parte das regiões leste e oeste do Paraná (Fig. 4). O Paraná merece destaque por apresentar a maioria de seus municípios com rendimento de grãos superior a 2.000 kg/ha no período considerado (safras 1998/99 a 2002/03).

O impacto do ambiente (clima) sobre o potencial de rendimento de soja, ou a identificação de ambientes com maior potencial de rendimento vem sendo facilitada por trabalhos de zoneamento agrícola e de riscos climáticos como os de Cunha & Haas (1996), Cunha et al. (1999) e Farias et al. (2001), que utilizaram dados de tipo de solo, variáveis meteorológicas, resultados experimentais e cálculos de balanço hídrico, além de ferramentas como geoprocessamento, para caracterizar áreas de maior potencial e áreas com maior probabilidade de perdas de potencial por deficiência hídrica. Estes trabalhos servem de base para o aumento dos rendimentos médios estaduais pois direcionam a tomada de decisões de manejo, objetivando elevar o rendimento de grãos e reduzir perdas, por meio do estabelecimento da época de semeadura mais adequada para cada local.

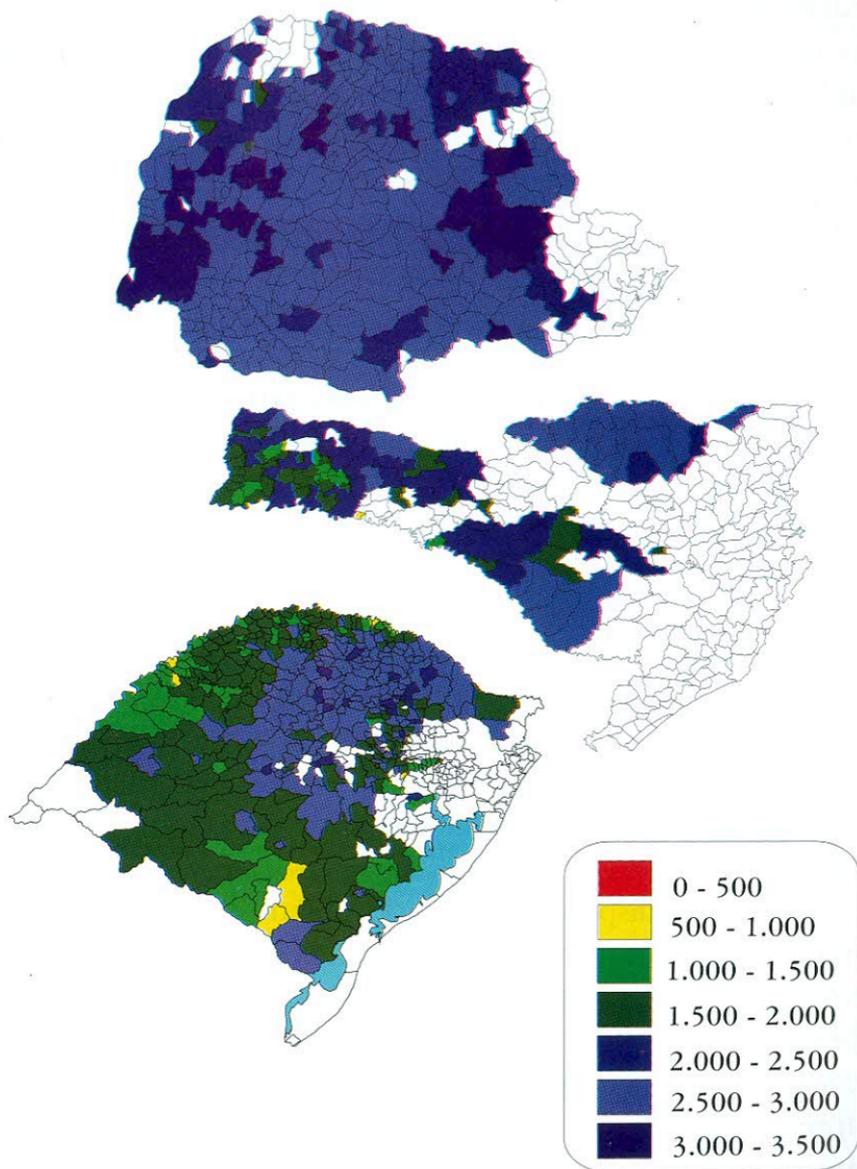


Fig. 4. Rendimento de grãos (kg/ha), na média das safras de 1999 a 2003, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Fonte: IBGE, 2005.

Além de fatores climáticos que definem as regiões de maior potencial, cabe destacar outros fatores como os fundiários, de aplicação de tecnologia e culturais, que ajudam a definir tais regiões. Evidencia-se nos mapas apresentados na Fig. 4, que regiões tradicionalmente caracterizadas pela produção de sementes, como o nordeste gaúcho (Vacaria, Muitos Capões, Lagoa Vermelha, etc.) e Sul de Santa Catarina (Campos Novos), apresentam maiores níveis de rendimento de grãos. Também no leste do Paraná (região de Ponta Grossa, Castro, etc.), caracterizada por produtores que utilizam elevado nível de tecnologia e em que se encontram cooperativas atuantes, o rendimento de grãos também é elevado.

## Época de semeadura

A cultura de soja no Sul do Brasil tem sua área de maior potencial produtivo, bem como, o estabelecimento de melhor época de semeadura definidos por fatores climáticos. Dentre os quais o mais importante é a disponibilidade hídrica. Também são importante, mas com menor impacto, a insuficiência térmica e a falta de uma estação seca durante a colheita. No Rio Grande do Sul praticamente todo o estado tem potencial para cultivo de soja com exceção de uma pequena região no Nordeste do estado que apresenta limitações térmicas (Mota et al., 1974). Ao longo dos anos a precipitação pluvial foi estabelecida como a principal variável meteorológica determinante de oscilações no rendimento de grãos, tanto entre regiões como na variação interanual (Mota, 1983; Cunha et al., 1999; Barni & Matzenauer, 2000). Embora a soja seja considerada tolerante a deficiência hídrica, utilizando

mecanismos como um longo período de florescimento, a deficiência hídrica se acentuada e/ou duradoura pode comprometer o estabelecimento da população de plantas adequada, trazer prejuízos a fixação simbiótica de nitrogênio, aumentar o abortamento de flores e legumes, diminuir o período de enchimento de grãos, entre outros efeitos negativos. Assim, safras como as de 1977/1978, 1978/1979, 1981/1982, 1985/1986, 1987/1988, 1990/1991, 1995/1996, 1996/1997, 1998/1999, 1999/2000, 2003/2004 e 2004/2005 marcadas pela deficiência de precipitação pluvial durante o ciclo da soja, aparentaram também baixo rendimento de grãos.

No Rio Grande do Sul, o estabelecimento das melhores épocas de semeadura por município foi realizado levando em consideração a “disponibilidade hídrica x período crítico de desenvolvimento”, sendo estes considerados os principais fatores determinantes da expressão do rendimento da cultura. Para tal foram realizados cálculos de balanço hídrico e considerados materiais genéticos de diferentes ciclos, tipos de solo, estabelecendo-se assim, o calendário de semeadura de soja dos estados do Sul.

As duas etapas críticas da cultura de soja, em relação à disponibilidade hídrica, são da germinação a emergência e o período reprodutivo (Doss et al., 1974; Berlatto et al., 1992; Câmara & Heiffig, 2000). A deficiência no início do ciclo dificulta a embebição da semente e, conseqüentemente, sua germinação, e promove a formação de crostas superficiais, em determinados tipos de solo, que atrasam ou impedem a emergência das plântulas (Câmara & Heiffig, 2000).

A semeadura de soja em época adequada destaca-se no controle da deficiência hídrica, pois pode ser ajustada para evitar períodos de baixa precipitação durante estádios críticos e fazer coincidir os períodos de florescimento e fixação de legumes com períodos

favoráveis de disponibilidade hídrica (Mota, 1983). Pode-se também utilizar, em nível de propriedade, 1/3 de cultivares precoces, 1/3 de cultivares de ciclo médio e 1/3 de cultivares tardias. Com isso se está reduzindo os riscos de insucesso total da área cultivada, pois as plantas das diferentes cultivares apresentarão defasagens em seus subperíodos de desenvolvimento (Barni, 1999). O mesmo ocorre quando é feito o escalonamento da semeadura de uma mesma cultivar.

Uma questão já discutida mas que merece maior destaque é a interação entre época de semeadura e ciclo de cultivares. Atualmente, a utilização de cultivares de soja de ciclo cada vez mais precoce e de tipo de crescimento indeterminado, a ocorrência da ferrugem da soja e a realização de “safra” e “safrinha”, têm levado à antecipação da semeadura em algumas regiões. A semeadura da safra em setembro, fora da época adequada, de cultivares superprecoces, faz com que as plantas de soja se desenvolvam inicialmente sob temperatura fria para amena que atrasa seu crescimento, possibilita a incidência de oídio, fazendo com que a cultura floresça com porte baixo e proporcione baixo rendimento de grãos. Já a semeadura da safrinha em janeiro, de materiais superprecoces, também restringe o desenvolvimento vegetativo da cultura e reduz o rendimento de grãos pela época inadequada de semeadura e pela falta de rotação de culturas. Bonato et al. (1998), avaliando o desempenho de cultivares de soja indicadas para cultivo no Rio Grande do Sul em diferentes épocas adequadas de semeadura em quatro locais do estado durante três anos, evidenciaram que a redução média do rendimento com o atraso da semeadura de novembro para dezembro foi de 17,3% nas cultivares precoces 17,1% nas de ciclo médio e 19,7% nas de ciclo semitardio/tardio. O mesmo comportamento foi verificado

quanto ao tamanho do grão, estatura de plantas e inserção de primeiros legumes. Os resultados obtidos indicaram que existe possibilidade de cultivo das atuais cultivares de soja de ciclo precoce a partir de meados de outubro, e que as cultivares dos três ciclos expressam potencial produtivo semelhante na semeadura de meados de dezembro. Entretanto, deve-se ter muito cuidado quando se modifica a época de semeadura em soja. Como já foi discutido anteriormente, as interações genótipo x fotoperíodo x temperatura x disponibilidade hídrica, podem modificar o crescimento e desenvolvimento de soja e reduzir o potencial produtivo da cultura se a época de semeadura não for bem ajustada. Os trabalhos que levaram ao estabelecimento de um calendário de semeadura para soja no Brasil são baseados em dados históricos que representam o comportamento médio das variáveis climáticas que têm impacto sobre a cultura, não sendo apenas resultado de avaliações de safras isoladas, muitas vezes com efeitos pronunciados de fenômenos pontuais.

## Fertilidade de solo

A soja é uma espécie exigente em fertilidade, principalmente no que se refere ao nitrogênio. É importante lembrar que, se a soja dependesse de adubo nitrogenado, necessitaria cerca de 400 kg de uréia (8 sacos) para produzir 2.400 kg de grãos/ha (40 sacos) e a lucratividade estaria comprometida. Nesse aspecto, a associação simbiótica que a soja apresenta com as bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, juntamente com o nitrogênio do solo, é capaz de fornecer a totalidade do nitrogênio que a cultura

necessita. Essa simbiose tem sido facilitada nas lavouras de soja pela inoculação das sementes com a bactéria e também com a adoção do sistema plantio direto. Em regiões em que se cultiva soja por vários anos, o rizóbio vai se instalando no solo e se multiplicando até constituir parte significativa da população bacteriana desse habitat, principalmente sob sistema plantio direto. Nesses locais, a ausência de inoculação não causa diminuição perceptível de rendimento, estimada de 3-5%, pois é mascarada por estresses maiores como deficiência hídrica, pH do solo inadequado, baixo nível de adubação, etc. Esse fato tem levado a redução na utilização de inoculantes na cultura e muitos agricultores esquecem da importância do rizóbio, na sua função indispensável que é fornecer o nutriente de maior consumo pela soja. Para se buscar elevados potenciais de rendimento de grãos é indispensável fazer a inoculação todas as safras, pois os rizóbios do inoculante são mais eficientes na fixação simbiótica de  $N_2$  do que os rizóbios nativos no solo.

Alguns agricultores estão comprando ou arrendando terras em regiões novas (como campo nativo ou várzeas arrozeiras) e, conseqüentemente, vários são os casos de insucesso na lavoura de soja de primeiro ano, por descuido com a inoculação. Nessa situação, é necessário inocular as sementes com quantidades de inoculante superiores ao normalmente utilizado em áreas tradicionalmente cultivadas com a cultura. Assim, a não inoculação da cultura deve ser sempre avaliada e monitorada a fim de comprovar a eficiência do inóculo presente no solo.

A busca por um solo com características físicas, químicas e biológicas adequadas para o crescimento de soja é um fator promotor do rendimento de grãos. Para isso existem inúmeras técnicas que devem ser avaliadas para cada condição específica.

Não há regras ou soluções universais nesse sentido. Merece destaque, entretanto, a importância de se observar a análise de solo (realizada de preferência em cada talhão da lavoura). “Receitas de bolo” que recomendam uma mesma adubação para todas as condições, muitas vezes com produtos que têm eficiência duvidosa devem ser encaradas com precaução. Por ser a adubação um dos fatores de maior custo na produção de soja, a tomada de decisão referente a essa prática deve ser baseada na relação benefício/custo.

Em muitas áreas do sul do Brasil, a utilização do sistema plantio direto por vários anos, tem levado a um acúmulo de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo, bem como, o aumento do pH. Estas condições, proporcionam lavouras com maior potencial de rendimento.

## Escolha de cultivares

As cultivares de soja disponíveis no mercado representam uma gama de possibilidades de manejo. Genótipos com diferentes níveis de potencial de rendimento, com ciclos diferenciados, com tipos de crescimento distintos, com gene de tolerância ao glifosato, para diferentes usos, são algumas das possibilidades que podem ser exploradas.

A escolha da cultivar correta para cada situação específica é um dos passos primordiais para obtenção de maiores retornos.

Para produtores que aplicam elevado nível de tecnologia na lavoura, existem cultivares com potencial genético capaz de produzir mais

de 6.000 kg/ha. Já para produtores que desejam investir menos, existem cultivares com maior estabilidade de rendimento de grãos e que podem proporcionar rendimento de grãos em níveis adequados mesmo com menor tecnologia.

## Arranjo de plantas (população de plantas e espaçamento entre as linhas)

Mudanças no arranjo das plantas na lavoura parecem ações simples de manejo que muitas vezes são postas em segundo plano. Entretanto, a definição da população de plantas e do espaçamento entre as linhas de semeadura são fatores controláveis, pois são manejados pelo produtor e podem ser usados para maximizar o rendimento de grãos. Embora a soja seja notoriamente conhecida como uma cultura “plástica”, em que uma grande variação de população de plantas, muitas vezes, não implica em variações no rendimento de grãos (Rubin, 1997), é importante que se utilize populações ajustadas e com plantas bem distribuídas buscando evitar falhas na lavoura. O excesso de plantas também deve ser evitado pois além de aumentar os custos de produção, pode gerar perdas pela maior competição intra-específica (por água, luz e nutrientes), pelo maior risco de acamamento e dificuldades de colheita. Assim, a população de plantas indicada tem ficado em torno de 30 plantas/m<sup>2</sup>, aceitando-se variações de 20%, para mais ou para menos. Recentemente, alguns trabalhos de pesquisa têm indicado aumentos no rendimento de grãos com a redução do espaçamento entre as linhas, dos tradicionais 40 a 50 cm, para

20 cm (Pires et al., 1998; Rambo et al., 2002ab; Parcianello et al., 2004) (Tabela 4). Esta prática deve ser preferida por produtores que utilizam um adequado nível de tecnologia e para situações específicas como semeadura em época tardia (Rodrigues et al., 2002). Em países como os Estados Unidos da América esta prática tem sido utilizada em sistemas de manejo que visam elevado rendimento de grãos.

Tabela 4. Rendimento de grãos de soja em dois espaçamentos entre linhas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/1997, 1997/1998 e 2000/2001.

Espaçamento entre as linhas	Safrá		
	1996/1997	1997/1998	2000/2001
20 cm	5.420 a <sup>1</sup>	3.783 a <sup>2</sup>	5.014 a
40 cm	4.322 b	3.362 b	4.322 b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup> Semeadura tardia (13/12/1997).

Fonte: Pires et al. (1998), Thomas et al. (1998), Rambo et al. (2002a).

Entre as vantagens da redução do espaçamento entre linhas destacam-se:

- distribuição mais uniforme das plantas no espaço com redução da competição intra-específica (mais próxima da equidistância) (Ikeda, 1992);
- maior habilidade de competição com plantas daninhas com

- aumento da competição interespecífica (Johnson, 1987);
- maior e mais rápida interceptação de radiação solar (Board & Harville, 1992);
- exploração mais uniforme da fertilidade do solo (Johnson et al., 1982); e
- melhor uso da água devido ao sombreamento mais rápido do solo (Doss & Thurlow, 1974).

A grande maioria dos produtores de soja usa 40 a 50 cm de distância entre as linhas. Considerando o espaçamento de 50 cm, e a população de 40 plantas/m<sup>2</sup>, cada planta, teoricamente, se elas estivessem dispostas à mesma distância umas das outras na linha, e, ainda, considerando que as raízes alcançariam a metade da distância entre as linhas antes de iniciar o crescimento vertical, aprofundando-se no perfil do solo, teria disponível um retângulo medindo 5 cm por 50 cm, ou uma área de 250 cm quadrados. Estas raízes, lateralmente, cresceriam 2,5 cm para cada lado da planta, dentro da linha, e o maior espaço disponível estaria em direção ao meio das linhas ou seja, 25 cm para cada lado, até alcançar a metade da distância. Considerando que o tempo para atingir o meio da linha pelas raízes, é o mesmo que a parte aérea leva para fechar o espaço entre as linhas, as raízes demorariam mais tempo para começar o crescimento vertical e explorar camadas mais profundas do solo (Fig. 5).

Por outro lado, quando as linhas são dispostas a 20 cm de distância, cada planta se desenvolve em um retângulo de 12,5 cm x 20 cm, ou seja, na mesma área por planta do caso anterior, 25 cm quadrados. No entanto, o desenvolvimento morfológico desta planta, tanto da parte aérea como das raízes, será completamente modificado, o que desencadeará um funcionamento diferenciado

do sistema como a maior economia de água do solo, por exemplo. As plantas levarão menor tempo para cobrir o espaço entre as linhas, sombreando mais rapidamente o solo, ao mesmo tempo que as raízes, ao atingirem o centro da linha, também iniciarão, muito mais cedo, o crescimento vertical e a utilização de camadas mais profundas do solo.

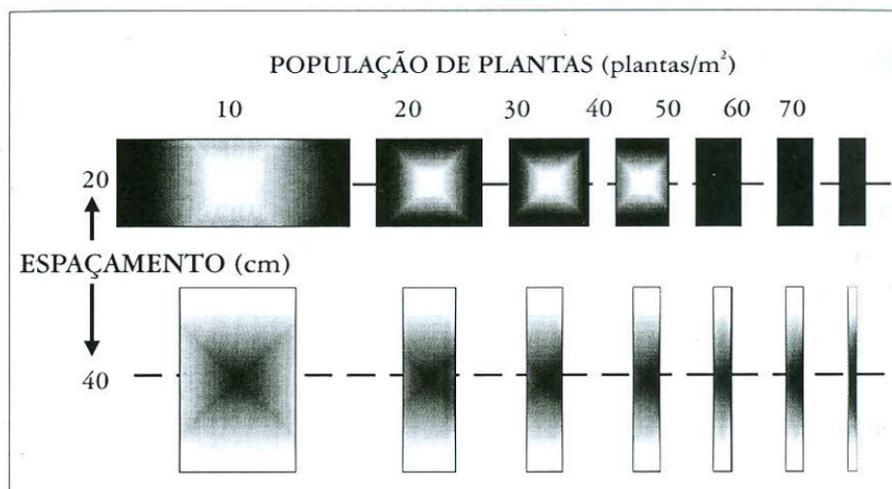


Fig. 5. Representação esquemática da área ocupada por uma planta de soja (retângulo em cada nível de população e espaçamento) em diferentes arranjos (combinação de populações de plantas com espaçamentos de 20 e 40 cm entre as linhas).

Embora a redução no espaçamento entre as linhas proporcione aumentos que podem chegar a mais de 20% no rendimento de grãos, a prática tem interações com outros fatores importantes da cultura de soja, que devem ser considerados no momento de optar por esta possibilidade. A adaptação de implementos para

semeadura e realização de tratos culturais, o controle de plantas daninhas, a incidência de doenças, o ajuste correto da população de plantas, a escolha da cultivar, a época de semeadura e a fertilidade do solo devem ser considerados para que os resultados positivos esperados sejam concretizados.

## Referências Bibliográficas

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 55, p. 373-399, 2004.

BARNI, N. A. Práticas agrícolas para minorar o impacto das secas e racionalizar a irrigação. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. p. 116-125.

BARNI, N. A.; MATZENAUER, R. Ampliação do calendário de semeadura da soja no Rio Grande do Sul pelo uso de cultivares adaptados aos distintos ambientes. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 189-203, 2000.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, H. M. Relação entre o rendimento de grãos da soja e variáveis meteorológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 5, p. 695-702, 1992.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evapotranspiração do tanque "classe A" e radiação solar global. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.

BOARD, J. E.; HARVILLE, G. Explanations for greater light interception in narrow-vs. wide-row soybean. *Crop Science*, Madison, v. 32, n. 1, p. 198-202, 1992.

BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F.; IGNACZAK, J. C.; TRAGNAGO, J. L.; RUBIN, S. de A. L. Desempenho de cultivares de soja em três épocas de semeadura, no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 6, p. 879-884, 1998.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. *Advances in Agronomy*, v. 56, p. 187-218, 1996.

CÂMARA, G. M. de S.; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M. de S. (Coord.). *Soja: tecnologia da produção II*. Piracicaba: ESALQ; LPV, 2000. 450 p.

CONFALONE, A. E.; COSTA, L. C.; PEREIRA, C. R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 165-169, 1998.

CONFALONE, A. E.; DUJMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.

COSTA, J. A. Cultura da soja. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996. 233 p.

COSTA, J. A. Rendimento da soja: chegamos ao máximo? In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Piracicaba. Anais... Piracicaba: POTAFOS, 2002.

COSTA, J. A.; MARCHEZAN, E. Características dos estádios de desenvolvimento da soja. Campinas: Fundação Cargil, 1982. 30 p.

CUNHA, G. R.; HAAS, J. C. Zoneamento agrícola: recomendações de épocas de semeadura de soja para o estado do Rio Grande do Sul - safra 1996/97. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 28 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 29).

CUNHA, G. R.; HAAS, J. C., DALMAGO, G. A.; PASINATO, A. Cartas de perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 52 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa, 1).

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science, Madison, v. 40, p. 716-722, 2000.

DE SOUZA, P. I.; EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Water stress during seed filing and leaf senescence in soybean. Agronomy Journal, Madison, v. 89, n. 5, p. 807-812, 1997.

DOSS, D. B.; PEARSON, R. W.; ROGERS, H. T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agronomy Journal, Madison, v. 66, n. 2, p. 297-299, 1974.

DOSS, D. B.; THURLOW, D. L. Irrigation, row width, and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. *Agronomy Journal*, Madison, v. 66, n. 5, p. 620-623, 1974.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMOCENO, A. L. Caracterização de riscos de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENINGTON, J. S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Crop Science*, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

HANSEN, W. R.; SHIBLES, R. Seasonal log of the flowering and podding activity of field-grown soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 70, n. 1, p. 47-50, 1978.

IBGE. Banco de dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <[www.sidra/ibge.gov.br](http://www.sidra/ibge.gov.br)>. acesso em: 30 de jun. 2005.

IKEDA, T. Soybean planting patterns in relation to yield and yield components. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 6, p. 923-926, 1992.

JOHNSON, R. R. Crop management. In: WILCOX, J. R. (Ed.). Soybeans: improvement, production, and uses. Madison: American Society of Agronomy - Crop Science Society of America - Soil Science Society of America, 1987. p. 355-385.

JOHNSON, R. R.; GREEN, D. E.; JORDAN, C. W. What is the best soybean row width? Crops and Soils Magazine, Madison, v. 43, n. 4, p. 10-13, 1982.

LOOMIS, R. S., AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. Crop Science, Madison, v. 39, p. 1584-1596, 1999.

MAEHLER, A. R.; PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; FERREIRA, F. G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MARCHEZAN, E.; COSTA, J. A. Produção e fixação de flores e legumes, em três cultivares de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 24, n. 9, p. 1065-1072, 1983.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MACHADO, F. A.; ROSA, F. S. da. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275, 1998.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; BREUSEGEM, F. V. Reactive oxygen gene network of plants. Trends in Plant Science, London, v. 9, n. 10, p. 490-498, 2004.

MOTA, F. S. da. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F. de J. (Coord.). Soja. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463 p.

MOTA, F. S. da; BEIRSDORE, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C.;  
MOTTA, W. A.; WESTPHALEN, S. L. Zoneamento  
agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.  
Pelotas: IPEAS, 1974. 122 p. (IPEAS. Circular, 50).

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que  
afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre:  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Faculdade de  
Agronomia - Departamento de Plantas de Lavoura, 2005. 31p.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.;  
OYA, T. Tolerância à seca em plantas. Biotecnologia Ciência &  
Desenvolvimento, Brasília, n. 23, p. 12-18, 2001.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.;  
OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In:  
BONATO, E. R. (Ed.). Estresses em soja. Passo Fundo:  
Embrapa Trigo, 2000. p. 21-44.

PARCIANELLO, G.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; RAMBO, L.;  
SAGGIN, K. Tolerância da soja ao desfolhamento afetada pela  
redução do espaçamento entre fileiras. Ciência Rural, Santa  
Maria, v. 34, n. 2, p. 357-364, 2004.

PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. Rendimento de  
grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de  
adubação. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 4,  
n. 2, p. 183-188, 1998.

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, Brasília, 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*, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. *Scientia Agraria*, v. 3, n. 1/2, p. 79-85, 2002a.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; SAGGIN, K. D. Análise de crescimento e rendimento por estrato do dossel da soja em função do arranjo de plantas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 8, n. 1/2, p. 111-120, 2002b.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 32., 2004, Passo Fundo. Indicações Técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2004/2005. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 172 p. (Embrapa Trigo. Sistemas de Produção, 1).

RITCHIE, S. W. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1982. 20 p. (Special Report, 53).

RIZHISKY, L.; LIANG, H.; SHUMAN, J.; SHULAEV, V., DAVLETONA, S.; MITTLER, R. When defense pathways collide. The response of *Arabidopsis* to a combination of drought and heat stress. *Plant Physiology*, Rockville, v. 134, p. 1683-1696, 2004.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; LHAMBY, J. C. B.; BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F. Sistema tardio de semeadura de soja (STS). Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 16 p. html. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, 11). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_cil11.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_cil11.htm)>.

RUBIN, S. de A. L. Comportamento da cultivar FEPAGRO RS-10 em seis densidades de semeadura no planalto médio riograndense. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25., 1997, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1997. p. 187.

SIONIT, N.; KRAMER, P. J. Effects of water stress during different stages of growth of soybean. Agronomy Journal, Madison, v. 69, n. 2, p. 274-278, 1977.

SPEHAR, C. R. Impact of strategic genes in soybean on agricultural development in the Brazilian tropical Savannahs. Field Crops Research, v. 41, p. 141-146, 1995.

THOMAS, A. L.; PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; MAEHLER, A. R. Efeito da redução no espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos de soja semeada tardiamente. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 26., 1998, Cruz Alta, RS. Ata e resumos... Cruz Alta: UNICRUZ, 1998. 234 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. Soil fertility and fertilizers. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

VENTIMIGLIA, L. A.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L.; PIRES, J. L. F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 2, p. 195-199, 1999.

•



## Efeito de Modelos de Produção no Rendimento de Grãos de Soja, sob Plantio Direto

*Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires & Silvio Tulio Spera*

---

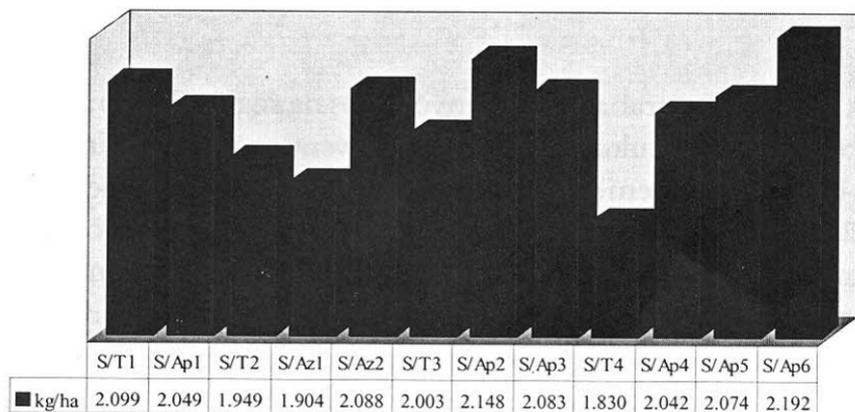
### Introdução

Na maioria dos trabalhos desenvolvidos na região Sul do Brasil, sobre rotação de culturas/sucessão envolvendo espécies de inverno ou de verão, não tem sido observado diferenças no rendimento de grãos de soja ou nos componentes do rendimento dessa cultura (Santos & Roman, 2001). Além disso, a soja tem sido, na maioria desses estudos, semeada em monocultura ou repetida na mesma área por dois ou até três verões. Mas, quando ocorreram diferenças, no rendimento de grãos de soja foram principalmente em função do efeito de alguma cultura de inverno necessária ao modelo, mas, que forneceu quantidade inadequada de palha para cobertura do solo na safra seguinte e não do efeito dos modelos de produção.

### Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos de soja

No trabalho desenvolvido por Santos (1991), no qual a soja foi

semeada em sucessão à diferentes culturas de inverno (aveia branca, aveia preta, azevém e trigo) distribuídas em distintos modelos de rotação de culturas ou de modelos de produção, sob plantio direto, a mesma, não apresentou diferenças significativas no rendimento de grãos (Fig. 1). Nesse estudo, a soja foi cultivada em monocultura e sob diferentes modelos de produção de grãos em que a cultura de trigo apresentava um, dois e três invernos em rotação, e continha também as culturas de aveia preta e de azevém para pastagem. Esse estudo, objetivava estudar o efeito de culturas alternativas de inverno para rotacionar com trigo.



Ap: aveia preta, Az: azevém, S: soja e T: trigo.

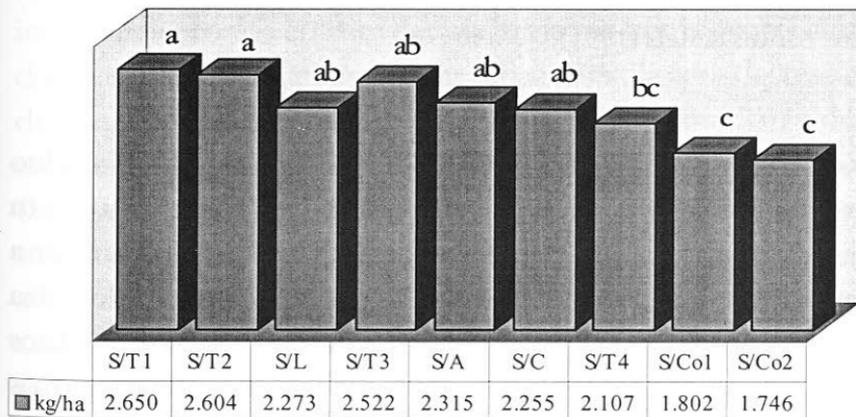
Fig. 1. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1985/86 a 1988/89.

Fonte: Santos (1991).

Por outro lado, e como conseqüência da rotação, no sistema plantio direto são deixados na superfície do solo, após a colheita, os resíduos culturais das diferentes espécies utilizadas no sistema agrícola. Essa cobertura vegetal tem papel importante no sistema, pois além de proteger contra erosão, mantém o solo úmido em

períodos de estiagem, dentre outros benefícios (Almeida, 1981). Esse efeito depende, por sua vez, do tipo de resíduo, da distribuição e da quantidade.

Deve-se considerar que o efeito da rotação de culturas, na região Sul do Brasil tem sido mais pronunciado, afetando principalmente o rendimento de grãos e algumas características agrônômicas de cereias de inverno, dentre as quais, as culturas de trigo e de cevada (Santos & Reis, 2001). Na cultura de soja esse efeito foi detectado na década de 1980 por Santos & Reis (1991). Nesse caso, soja cultivada após colza ou em monocultura sucedida por trigo sofreu influência negativa no rendimento de grãos (Fig 2). Nesse mesmo estudo, soja após colza mostrou também menor estatura de planta (Fig. 3). Resultados semelhantes aos de Santos & Reis (1991) para estatura de plantas foram obtidos por Vilhordo et al. (1985).

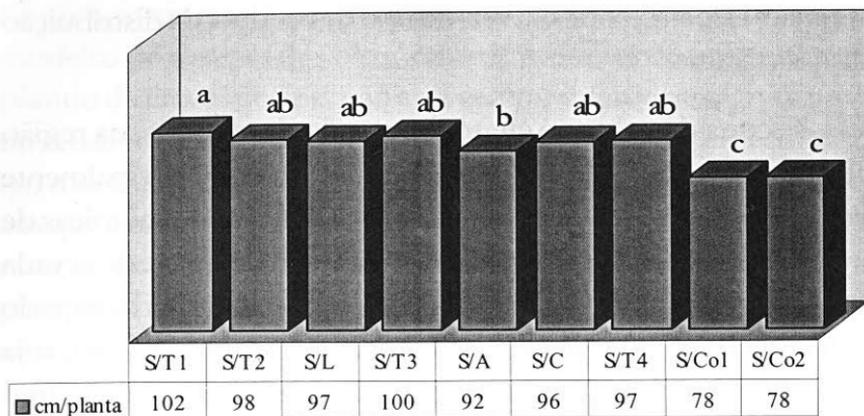


A: aveia branca, C: cevada, Co: colza, L: linho, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 2. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1984/85 a 1988/89.

Fonte: Santos & Reis (1991).



A: aveia branca, C: cevada, Co: colza, L: linho, S: soja e T: Trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 3. Efeito de culturas de inverno na estatura de plantas de soja de 1984/85 a 1988/89.

Fonte: Santos & Reis (1991).

De acordo com Almeida (1988) e Patrick et al. (1964), o resíduo cultural de colza pode provocar efeito negativo na cultura em sucessão deste, devido às substâncias tóxicas liberadas durante a decomposição. Chew (1988) verificou que espécies de colza (*Brassica napus* L.) produzem grandes quantidades de glucosinolatos e de outros produtos derivados do metabolismo secundário, os quais são convertidos em vários aleloquímicos. Isso ocorre com mais freqüência em condições de distribuição irregular de precipitação pluvial durante o estabelecimento e o desenvolvimento de soja cultivada após colza (Santos & Reis, 1991; Eberlein et al., 1998). O efeito detrimental da colza cultivada no inverno ficou evidenciado em ensaios sobre soja em plantio direto,

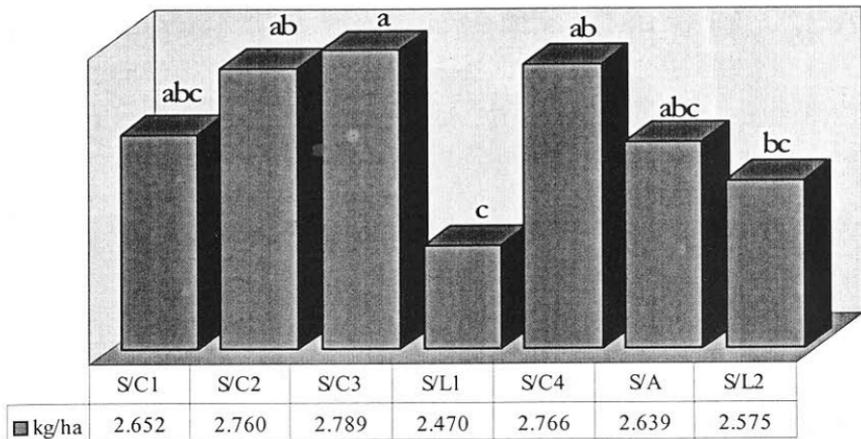
pela redução da estatura de plantas e pela redução do rendimento de grãos dessa leguminosa, em anos com ocorrência de estresse hídrico acentuado (Santos & Reis, 1991). Esses sintomas não foram observados em solos sob preparo convencional, provavelmente devido à diluição das substâncias tóxicas pelo revolvimento do solo nesse sistema de cultivo (observações de lavouras de soja na região de Ijuí, RS, sob preparo convencional de solo). O efeito da redução na estatura de plantas de soja cultivada após colza já havia sido observado anteriormente por Santos et al. (1983) e por Villhordo et al. (1985), e, inclusive, no Rio Grande do Sul há relatos de que alguns agricultores deixaram de semear soja sobre os resíduos de colza devido aos efeitos dessa crucífera na redução da estatura de plantas (Almeida, 1988).

O baixo rendimento de grãos de soja, cultivada em monocultura desde 1984, pode ser atribuído aos efeitos alelopáticos negativos inerentes à própria cultura de soja, uma vez que a ocorrência de doenças em soja não atingiu limiar capaz de explicar os decréscimos de rendimento de grãos verificados na monocultura dessa oleaginosa, em comparação com a soja sob rotação de culturas (Santos & Reis, 1991). A decomposição dos resíduos culturais de soja libera alguns compostos, os quais podem se acumular no solo até atingir concentrações que atinjam níveis inibidores do crescimento da própria planta (Almeida, 1988). Esgotamento de um único nutriente (ou esgotamento lateral) do solo também pode explicar quebra no rendimento de grãos.

Por outro lado, as aveias branca e preta para cobertura de solo têm produzido grande quantidade de resteva, em relação a outras gramíneas como cevada, trigo e triticale (Roman, 1990). Em nível intermediário de fornecimento de palha, podem ser citados

ervilhaca e colza, e com menor produção de resteva, o linho.

Na avaliação de sistemas de produção de grãos envolvendo a cultura de soja, em Guarapuava, PR, de 1984/85 a 1989/90 e de 1990/91 a 1993/94, verificou-se efeitos significativos do tipo de resteva de inverno no rendimento de grãos e na estatura de plantas (Santos et al., 1997). De 1984/85 a 1989/90, o melhor rendimento de grãos e a maior estatura de plantas ocorreu quando soja foi cultivada após cevada e aveia branca (Fig. 4 e 5). Porém, soja cultivada após resteva de linho apresentou menor rendimento de grãos e menor estatura de plantas. De 1990/91 a 1993/94 (Fig. 6 e 7), essa diferença no rendimento de grãos e na estatura de plantas de soja cultivada após resteva de cevada e de aveia branca, foi mais evidente, em comparação com a soja cultivada após resteva de linho. Este período de estudo, foi mais favorável para o cultivo de soja do que o período anterior, ou seja, no ano de 1990/91, a soja produziu, em média, acima de 4.000 kg/ha, enquanto o rendimento médio de grãos, se manteve próximo de 3.000 kg/ha. Dados semelhantes para rendimento de grãos e para estatura de plantas foram obtidos por Santos & Lhamby (1996) e por Santos et al. (1998), podendo ser devidos a efeitos negativos da cultura de linho, uma vez que o resíduo desta é citado, desde o século I A.C., como causador de “queima” nas culturas instaladas em seguida na mesma área (Almeida, 1990). A quantidade de resteva cultural das espécies que antecederam soja em 1993, no experimento em questão, foram as seguintes: aveia branca de 6,3 a 7,1 t/ha; cevada de 3,9 a 4,7 t/ha; e linho 2,3 t/ha. Apesar da baixa quantidade de palha de linho, observou-se que, na maioria dos anos, a soja antecedida por essa cultura emergiu mais lentamente do que após aveia branca ou após cevada.

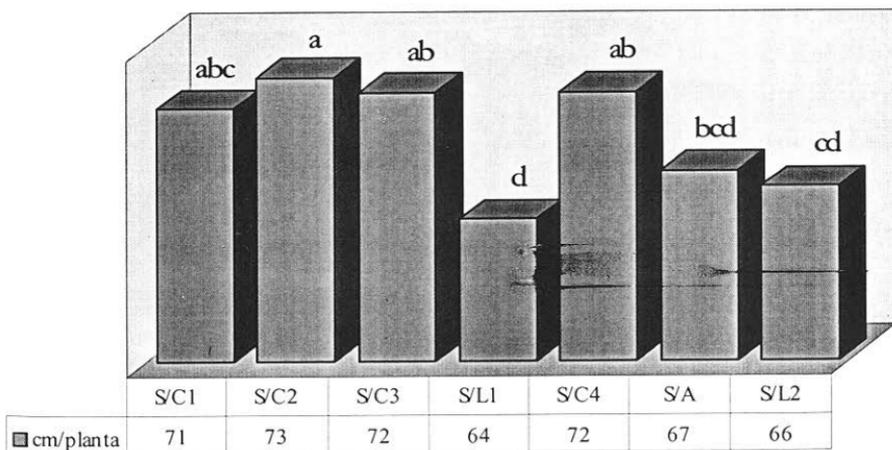


A: aveia branca, C: cevada, L: linho e S: Soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 4. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1984/85 a 1989/90.

Fonte: Santos et al. (1997).

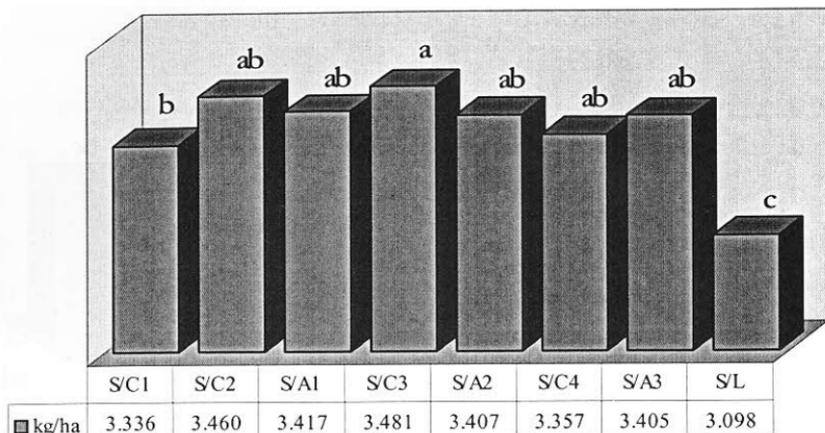


A: aveia branca, C: cevada, L: linho e S: soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 5. Efeito de culturas de inverno na estatura de plantas de soja de 1984/85 a 1989/90.

Fonte: Santos et al. (1997).

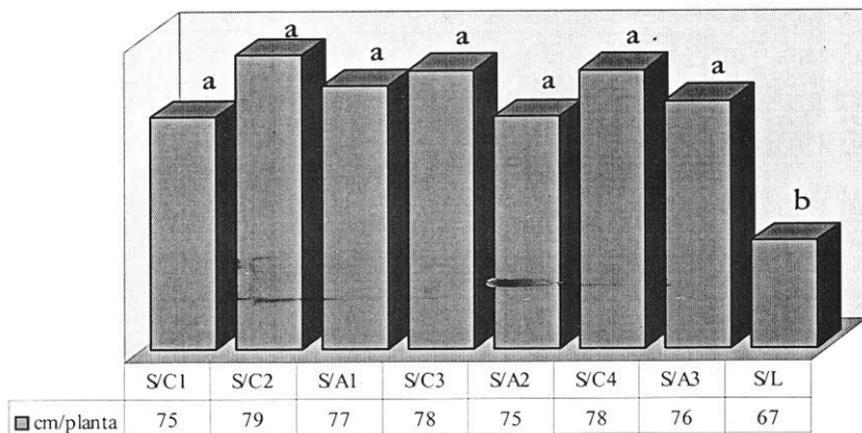


A: aveia branca, C: cevada, L: linho e S: soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 6. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1990/91 a 1993/94.

Fonte: Santos et al. (1997).



A: aveia branca, C: cevada, L: linho e S: soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 7. Efeito de culturas de inverno na estatura de plantas de soja de 1990/91 a 1993/94.

Fonte: Santos et al. (1997).

## Efeito de modelos de produção no rendimento de grãos da soja

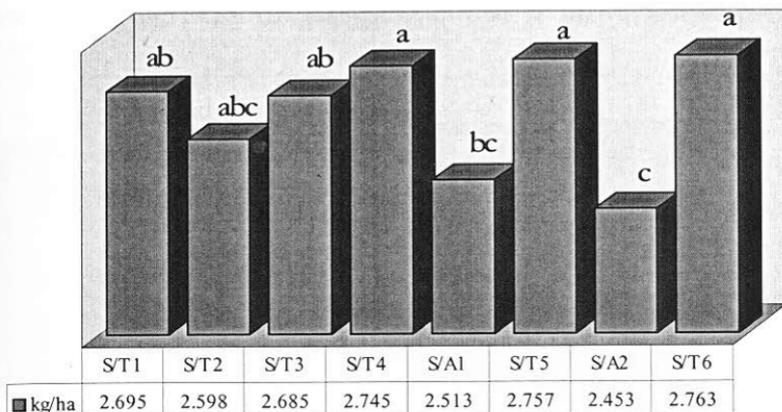
Em estudo conduzido na Embrapa Trigo, sobre sistemas de produção integração lavoura + pecuária, iniciado em 1995, foi encontrada diferença significativa entre as médias de rendimento de grãos de soja, na comparação dos resultados entre sistemas, somente na safra agrícola 1996/97 (Santos et al., 2004a). Porém, entre médias de oito safras agrícolas, houve diferença significativa entre os modelos estudados, na análise conjunta de 1995/96 a 2002/03. A soja cultivada após trigo apresentou rendimento de grãos e estatura de plantas mais elevado que a soja cultivada após aveia branca, em um dos modelos estudados (Fig. 8 e 9). Assim, de maneira geral, o rendimento de grãos de soja foi maior após trigo, em relação à cultivada após aveia branca. Porém, deve ser considerado que soja após aveia branca foi cultivada por dois anos consecutivos na mesma área. Nesse mesmo estudo conduzido na Embrapa Trigo e na média dos anos de 1995 a 2002, a quantidade de resíduo cultural remanescente de espécies de inverno foi mais elevada na cultura de aveia branca em um dos modelos estudados (Fig 10). Tem sido observado, neste e em outros trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo, que a quantidade de palha remanescente de aveia branca destinada à produção de grãos tem sido maior que a de trigo. Em condições de lavouras comerciais, isso pode também estar ocorrendo.

Quando soja for semeada imediatamente sobre essa palha, podem ocorrer problemas relativos à alelopatia, o que é difícil de ser verificado ao nível de lavoura, pois ocorreria em áreas relativamente grandes e sem possibilidade de comparação com

palha remanescente de outras culturas, como a de trigo. Ademais, a palha remanescente de aveia preta tem sido ainda maior do que a de aveia branca, porém, a primeira palhada é manejada com alguma antecedência, ou seja, com rolo faca ou com dessecante, antes de completar o florescimento.

A quantidade de resteva das culturas produtoras de grãos, no inverno de 1996, principalmente de aveia branca de 4,5 a 4,7 t/ha de fitomassa, foi superior a de trigo de 2,5 a 2,8 t/ha de fitomassa. Plantas voluntárias de aveia branca emergidas juntamente com a cultura podem ter reduzido o rendimento de grãos de soja. Nesse caso específico, observou-se que soja após essa gramínea mostrou, ao longo do ciclo, menor estatura de plantas e folhas com coloração verde menos intensa, em relação aos demais tratamentos envolvendo essa leguminosa. Esse efeito pode ser devido, pelo menos parcialmente, à elevada relação C:N (Aita et al., 2001) da palha remanescente de aveia branca - provocando assim, deficiência de nitrogênio na soja e, também, competição entre aveia branca e leguminosa pelos recursos do ambiente - e à alelopatia, pois, no resíduo remanescente de aveia existem diversos compostos que são conhecidos por suas propriedades alelopáticas (Rice, 1984). Deve ser considerado que a soja foi inoculada com *Bradyrhizobium* spp.

Almeida & Rodrigues (1985) observaram efeito negativo de extrato aquoso a 10% da parte aérea de aveia preta no comprimento de raiz e de parte aérea de plântulas de soja. De acordo com Rice (1984), a aveia preta possui dois compostos alelopáticos nos exsudatos de raízes, que são a escopoletina e o ácido vanílico. Grande quantidade desses dois compostos secundários pode ter sido liberada por ocasião da decomposição de resíduos culturais de aveia.

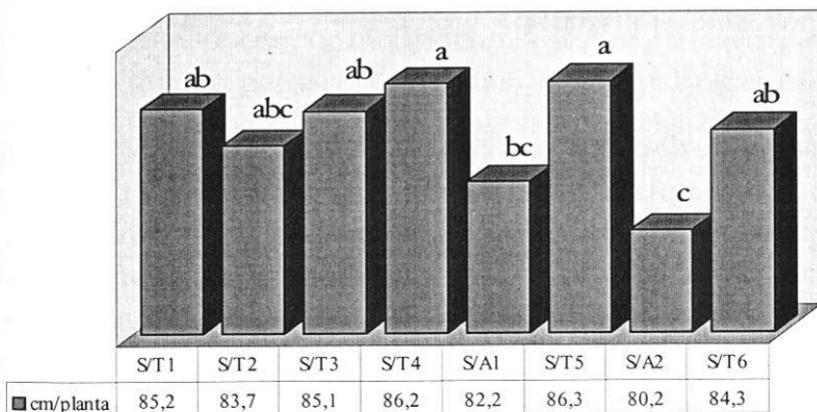


A: aveia branca, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 8. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1995/96 a 2002/03.

Fonte: Santos et al. (2004a).

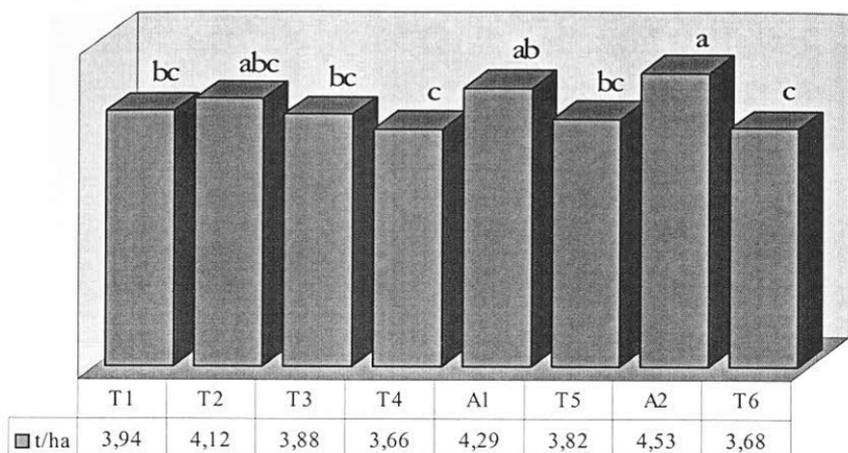


A: aveia branca, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 9. Efeito de culturas de inverno na estatura de plantas de soja de 1995/96 a 2002/03.

Fonte: Santos et al. (2004a).



A: aveia branca e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 10. Quantidade de resteva remanescente de espécies de inverno, em sistemas de produção, de 1995/96 a 2002/03.

Fonte: Santos et al. (2004a).

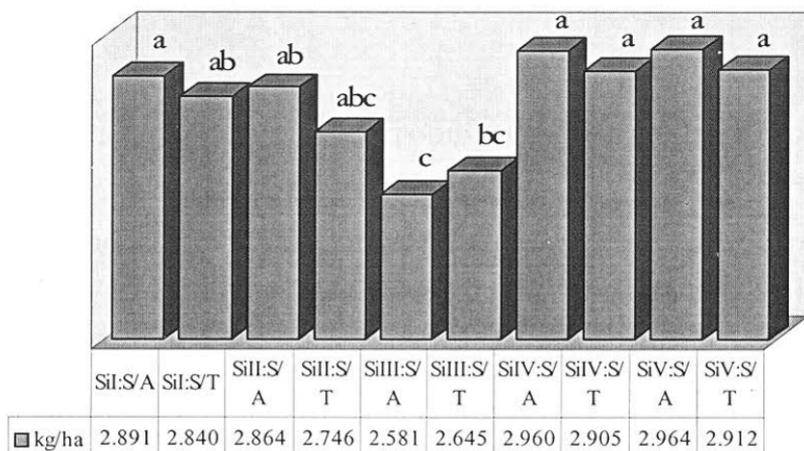
O acúmulo de compostos com ação alelopática no solo é facilitada no sistema plantio direto, no qual os resíduos culturais são mantidos na superfície do solo (Santos & Roman, 2001). Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que existe possibilidade de interferência da palha remanescente de aveia branca sobre o desenvolvimento de soja. Todavia, os efeitos dessas substâncias em condições de campo são difíceis de ser isolados, uma vez que vários fatores interagem quando os resíduos são depositados sobre o solo, como, por exemplo, os efeitos de resíduos culturais sobre a temperatura do solo, afetando vários processos biológicos e fisiológicos das plantas. Outro efeito importante é o da relação C:N e de outras relações desses resíduos sobre a imobilização de nitrogênio e de outros nutrientes e,

conseqüentemente, sobre o crescimento de culturas subseqüentes.

No caso específico de resíduos culturais de colza e de linho, tem sido indicado estrategicamente o uso de cultivares mais precoces dessas espécies e semeadura na época indicada pela pesquisa/extensão. Cultivares de colza que apresentarem ciclo mais curto do que as atualmente em uso, e com potencial produtivo semelhante (Carraro & Balbino, 1994), possibilitariam concluir o ciclo da cultura antes da de trigo, restando maior espaço de tempo para a decomposição dos resíduos antes da semeadura de soja. Isso também poderia ser válido para outras culturas, como aveia branca e linho.

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2004b), sobre sistemas de produção mediante integração lavoura + pecuária (pastagens anuais de inverno e perenes) foi observado diferenças significativas para rendimento de grãos de soja, somente para um ano e para a média conjunta do resultados. Na safra 2000/01, o rendimento de grãos de soja foi superior no modelo composto por pastagem perene de estação quente: pensacola + cornichão + trevo branco e trevo vermelho (sistema IV), após trigo, porém foi semelhante ao rendimento de grãos após trigo, nos modelos composto por alfafa para corte (sistema V) e sucessão de culturas trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho para produção de grãos (sistema I), e após aveia branca, nos sistemas IV, V e I, respectivamente. Até a safra de 2000/01, não havia sido verificada diferença significativa, na média conjunta dos anos, para rendimento de grãos de soja. Deve ser considerado que houve pequenas diferenças entre as médias individuais, quanto ao rendimento de grãos, de alguns tratamentos. Em razão da consistência dos dados, essa diferença só foi verdadeira, na análise conjunta dos dados de 1996/97 a 2001/02, em relação ao rendimento de grãos. Na análise conjunta dos resultados, o rendimento de grãos de soja foi mais elevado quando

a mesma foi cultivada após aveia branca e trigo, nos sistemas V e IV, e após aveia branca, no sistema I, porém semelhante ao rendimento de grãos obtido após trigo, nos sistemas I e II (produção de grãos + pastagem anual de inverno), e após aveia branca, no sistema II (Fig. 11).



Si: sistema, A: aveia branca, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Figura 11. Efeito de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja de 1996/97 a 2001/02.

Fonte: Santos et al. (2004b).

Seria esperado que os sistemas de produção mistos, sob plantio direto, acumulassem na superfície do solo, após as pastagens perenes de inverno e de verão, quantidades razoáveis de matéria orgânica e de nutrientes (Paladini & Mielniczuk, 1991; Andreola et al., 2000). Quando essas pastagens perenes de inverno e de verão foram transformadas em lavouras, no caso do trabalho de Santos

et al. (2004b), o rendimento de grãos de soja foi mais elevado nos modelos nos quais foram incluídas alfafa ou pastagem perene de estação quente, do que quando se optou por pastagem perene de estação fria. Dessa maneira, a integração lavoura e pecuária por meio de sistemas de produção de grãos e pastagens constitui alternativa para recuperação de solo e de pastagens, além de proporcionar maior diversidade de produção e, por conseguinte, oferecer oportunidade de obtenção de reforço econômico ao longo do tempo (Macedo, 2001).

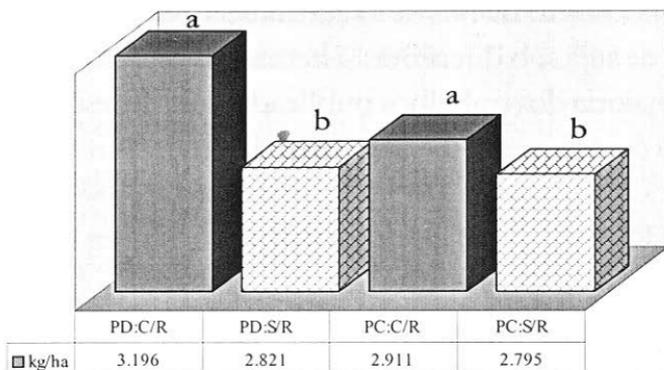
Deve ser considerado que, na rotação trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja (sistema I), havia sido cultivado somente culturas produtoras de grãos desde 1993, enquanto, no sistema II, havia culturas produtoras de grãos em rotação com pastagem anual de inverno (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja). Portanto, resultados de rendimento de grãos de soja, nos sistemas IV e V, concordam com dados freqüentemente encontrados na literatura (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Rheinheimer et al., 1998; Santos et al., 2001a, 2003), que confirmam a melhoria das condições edáficas dos solos após pastagens perenes, pelo acúmulo de nutrientes na superfície do solo e, principalmente, de matéria orgânica. Na condução do referido estudo, em 1998, foram encontrados níveis de matéria orgânica (sistema I: 30 g/kg; sistema II: 28 g/kg; sistema III: 33 g/kg; sistema IV: 37 g/kg; e sistema V: 32 g/kg) elevados apenas na camada superficial do solo (Santos et al., 2001b), decorrentes do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície de parcelas manejadas sob plantio direto e da ausência de incorporação física destes por meio do revolvimento do solo. O uso de leguminosas para reciclagem de nutrientes e o aumento do teor de N dos sistemas pode ser uma estratégia para se atingir produção sustentável. De Maria et al. (1999), trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico típico, em Campinas, SP, sob plantio direto,

verificaram acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo (0-5 cm), em relação à camada mais profunda (10-20 cm). Contudo, no trabalho de Santos et al. (2001b), com o passar dos anos, essa diferença significativa entre os níveis de matéria orgânica, para o ano 2000, não foi observada entre os modelos estudados por Santos et al. (2003): sistema I: 34 g/kg; sistema II: 33 g/kg; sistema III: 37 g/kg; sistema IV: 35 g/kg; e sistema V: 35 g/kg.

Por outro lado, sistemas de manejo conservacionista de solos têm sido preconizados, porque reduzem erosão e retêm mais água no solo, em virtude do não revolvimento do mesmo e da cobertura pela palha (Kochhann & Selles, 1991). Um dos fatores imprescindíveis à introdução e manutenção dos sistemas conservacionistas é a presença de cobertura vegetal para proteger o solo. Por isso, torna-se necessário introduzir sistemas adequados de rotação/sucessão de culturas, para gerar cobertura vegetal, além de diminuir o ataque de doenças e de pragas, principalmente nas espécies de interesse econômico (Santos et al., 1993).

Em trabalho conduzido em Cruz Alta, RS, sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, Ruedell (1995), observou que soja em rotação produziu mais do que em monocultura, tanto sob plantio direto como sob preparo convencional de solo com arado de discos (Fig. 12). Porém, o autor concluiu que a rotação de culturas foi mais importante em sistema plantio direto do que no manejo mediante preparo convencional de solo.

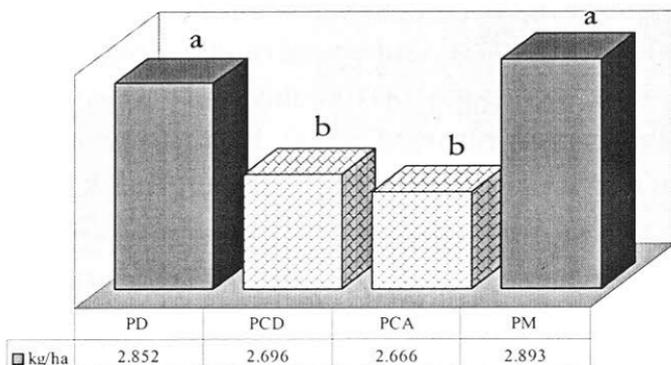
Na Embrapa Trigo foi também desenvolvido trabalho sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, a partir de 1986 por Santos et al. (2001b). Nesse estudo, na média conjunta do anos 1997/98 a 2002/03, soja cultivada sob plantio direto e sob cultivo mínimo foi superior para rendimento de grãos, em comparação à soja cultivada sob preparo convencional de solo com arado de discos e com arado de aivecas (Fig. 13).



PD: plantio direto, PC: preparo convencional de solo, C/R: com rotação e S/R: Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 12. Efeito de sistemas de manejo de solo e de sistemas de rotação de culturas no rendimento de grãos de soja, de 1986 a 1994.

Fonte: Ruedell (1995).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo de solo com arado de aivecas e PM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 13. Efeito de sistemas de manejo de solo no rendimento de grãos de soja de 1997/98 a 2002/03.

Fonte: Santos et al. (2001b).

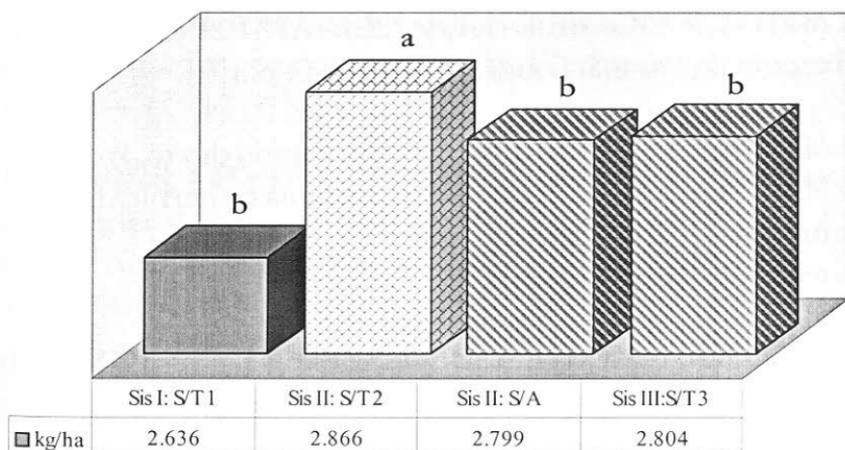
Existem, poucos trabalhos de longa duração relatando rendimento de grãos de soja sob diferentes sistemas de manejo de solo. Além disso, a maioria dos trabalhos publicados não apresentam análise conjunta comparando os diferentes sistemas de manejo de solo estudados (Sidiras et al., 1983; Edwards et al., 1988; Langdale et al., 1990; Ruedell, 1995). Por outro lado, em estudos mais recentes comparando diferentes sistemas de manejo de solo, não foram encontradas diferenças significativas para rendimento de grãos de soja (Santos et al., 1995; Ghaffarzadeh, 1997; Yusuf et al., 1999; Kluthcouski et al., 2000). Esses resultados indicam a importância da variabilidade espacial e temporal no rendimento de grãos das culturas sob diferentes sistemas de manejo de solo.

No estudo conduzido por Santos et al. (2001b), de 1997/98 a 2002/03, constatou-se também diferenças significativas para rendimento de grãos na cultura de soja, em distintos sistemas de rotação de culturas. O rendimento de grãos de soja cultivada em rotação por um verão (sistema II) foi superior à monocultura de soja (sistema I) e à seqüência em que a soja foi cultivada por dois verões seguidos e um verão sem a cultura (Fig. 14). Resultados similares, foram obtidos por Langdale et al. (1990), nos Estados Unidos, em cujo estudo, a soja cultivada após sorgo apresentou maior rendimento de grãos do que a soja cultivada em monocultura, durante dois ciclos de quatro anos de rotação.

Em alguns trabalhos que foram conduzidos sob sistemas de manejo de solo e sob rotação de culturas, também não foram efetuadas análises conjuntas dos resultados do parâmetro rendimento de grãos (Gaudêncio et al., 1986; Edwards et al., 1988; Langdale et al., 1990; Ruedell, 1995). Em outros trabalhos em que se avaliou rotação de culturas, não foi encontrada diferença significativa entre

as médias de rendimento de grãos de soja (Santos et al., 1995; Ghaffarzadeh, 1997; Yusuf et al., 1999).

Resumindo-se o conteúdo abordado neste capítulo, conclui-se que, o maior rendimento de grãos e a maior estatura de plantas ocorreram quando soja foi cultivada após cevada ou após trigo. O rendimento de grãos de soja foi mais elevado em modelos nos quais foram cultivadas alfafa e pastagem perene de estação quente do que quando se usou pastagem perene de estação fria. O plantio direto, o cultivo mínimo e a rotação de culturas foram benéficos à cultura de soja.



Sis: sistema, A: aveia branca, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 14. Efeito de sistemas rotação de culturas no rendimento de grãos de soja de 1997/98 a 2002/03.

Fonte: Santos et al. (2001b).

## Referências Bibliográficas

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALMEIDA, F. A. A alelopatia e as plantas. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. (IAPAR. Circular, 53).
- ALMEIDA, F. A. A defesa das plantas: alelopatia. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 62, p. 38-45, 1990.
- ALMEIDA, F. S. Controle de ervas. In: IAPAR. Plantio direto no estado do Paraná. Londrina, 1981. 244 p.
- ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N. Plantio direto. In: ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N. Guia de herbicidas: contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina: IAPAR, 1985. p. 341-399.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n. 4, p.857-865, 2000.
- CARPENEDO, V; MIELNICZUK, J. Estudo de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CARRARO, I. M.; BALBINO, L. C. Avaliação de cultivares de canola - 1993. Cascavel: OCEPAR, 1994. 24 p. (OCEPAR. Informe Técnico, 001).

CHEW, F. S. Biological effects of glucosinolates. In: CUTLER, H. G. (Ed.). Biologically active natural products: potential use in agriculture. Washington: American Chemical Society, 1988. p. 155-181.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.

EBERLEIN, C. V.; MORRA, M. J.; GUTTIERI, M. J. Glucosinolate production by five field-grown *Brassica napus* cultivars used as green manures. *Weed Technology*, Lawrence, v. 12, n. 4, p. 712-718, 1998.

EDWARDS, J. H.; THURLOW, D. L.; EASON, J. T. Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean, and wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v. 80, n. 1, p. 76-80, 1988.

GAUDÊNCIO, C. A.; YORINORI, J. T.; GARCIA, A.; QUEIROZ, E. F. de. Rotação de culturas com a soja no norte do Estado do Paraná. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1986. 10 p. (EMBRAPA-CNPSo. Pesquisa em Andamento, 10).

GHAFFARZADEH, M. Economic and biological benefits of intercropping berseem clover with oat in corn-soybean-oat rotations. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 10, n. 2, p. 314-319, 1997.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo no sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; CIDA, 1991. p. 9-20. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

LANGDALE, G. W.; WILSON JR., R. L.; BRUCE, R. R. Cropping frequencies to sustain long-term conservation tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n. 1, p. 193-198, 1990.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, n. 2, p. 135-140, 1991.

PATRICK, Z. A.; TOUSSOUN, T. A.; KOCH, L. W. Effect of crop-residue decomposition products on plant roots. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 2, p. 267-292, 1964.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

RICE, E. L. Allelopathy. 2. ed. New York: Academic Press, 1984. 424 p.

ROMAN, E. S. Effect of cover crops on the development of weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. Conservation tillage for subtropical areas. Passo Fundo: CIDA; EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 258-262.

RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

SANTOS, H. P. dos. Efeitos do cultivo da aveia preta e do azevém, para pastagem, e de trigo, sobre o rendimento e outras características da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 26, n. 6, p. 875-884, 1991.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em sistemas de produção com pastagens anuais e perenes, sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 10, n. 1/2, p. 35-45, 2004b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. Revista Brasileira de Ciência de Solo, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, S. R.; TOMM, G. O. Rendimento de grãos de soja em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 10, n. 1/2, p. 47-57, 2004a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T. Efeito de sistemas mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 545-552, 2003.

SANTOS, H. P. dos; I.HAMBY, J. C. B. Efeito de culturas de inverno sobre a soja cultivada em sistemas de rotação de culturas para trigo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Soja: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995/96. Passo Fundo, 1996. p. 153-165. (Embrapa Trigo. Documentos, 28).

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; LIMA, M. R. Efeito de sistemas de manejos de solo e de diferentes culturas de inverno sobre o rendimento de grãos de soja. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 69-76, 2001b.

SANTOS, H. P. dos; I.HAMBY, J. C. B.; SANDINI, I. Efeitos de culturas de inverno e de sistema de rotação de culturas sobre algumas características da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 1, p. 1141-1146, 1997.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 3, p. 289-295, 1998.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 26, n. 5, p. 729-735, 1991.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. In: SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Cap. 1, p. 11-132.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; AMBROSI, I., LHAMBY, J. C. B., FERRETTO, M. F. Efeito da cultura da colza no desenvolvimento da soja em sua sucessão. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Colza: resultados de pesquisa 1982. Passo Fundo, 1983. p. 46-51. Trabalho apresentado na III Reunião Anual de Programação de Pesquisa e Assistência Técnica da Cultura da Colza, Passo Fundo, 1983.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; DERPSCH, R. Rotação de culturas. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; FUNDACEP FECOTRIGO; Fundação ABC; Aldeia Norte, 1993. p. 85-103.

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Efeitos de culturas de inverno e rotações sobre a soja cultivada em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 7., n. 1, p. 59-68, 2001.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento de grãos de soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 7, n. 1, p. 103-106, 1983.

VILHORDO, B. W.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H.; BARNI, N. A.; GOMES, J. E. S.; GONÇALVES, J. C. Efeito alelopático da colza (*Brassica napus* L. var. *Oleifera* Metzg.) na rotação e sucessão trigo e soja. Agronomia Sulriograndese, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 55-64, 1985.

YUSUF, R. I.; SIEMENS, J. C.; BULLOCK, D. G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agronomy Journal*, Madison, v. 91, n. 6, p. 928-933, 1999.



## Efeito de Modelos de Produção na Fertilidade do Solo, sob Plantio Direto

*Henrique Pereira dos Santos, Silvio Tulio Spera, Renato Serena Fontaneli & Gilberto Omar Tomm*

---

### Introdução

Um sistema sustentável, com base no conceito proposto pela Sociedade Americana de Agronomia, pode ser definido como aquele que garante, a longo prazo, a qualidade ambiental e a preservação dos recursos naturais, que atende às demandas de produção de fibras e alimentos, é economicamente viável e promove a melhoria da qualidade de vida da sociedade (Stewart et al., 1991). Entre as estratégias possíveis de utilizar, visando ao desenvolvimento de uma agricultura de caráter sustentável, destacam-se o controle eficiente da erosão, o manejo dos resíduos vegetais, a reciclagem de nutrientes, a utilização de plantas de cobertura de solo e leguminosas em rotação com cereais. O Sul do Brasil, pelas suas características climáticas, apresenta potencial para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis (Debarba & Amado, 1997). A ocorrência de temperatura baixa durante uma estação do ano e de regime pluviométrico bem distribuído possibilita a implantação de sistemas de rotação de culturas ou de modelos de produção com elevada adição de carbono, combinado com taxas de decomposição que permitem, a longo prazo, o

progressivo aumento de matéria orgânica no solo (Bayer et al., 1995).

A rotação de culturas sob plantio direto, por melhorar as condições biológicas, físicas e químicas do solo, promove condições satisfatórias de desenvolvimento às culturas, e pode perfeitamente tornar o sistema agrícola sustentável (Santos & Reis, 2001). Quanto mais diversificados os sistemas de rotação ou os modelos de produção de grãos, maiores serão as possibilidades de se incorporarem ao solo matéria orgânica, fósforo e potássio (Sá, 1993; Santos & Tomm, 1996b; Santos et al., 2001).

Deve ser considerado que, as exigências nutricionais das culturas variam com a espécie. É necessário, portanto, levar em conta as exigências nutricionais de cada cultura ao estabelecer-se um sistema de rotação ou um modelo de produção de grãos (Santos & Reis, 2001). O cultivo contínuo de uma só espécie tende a esgotar o solo em determinados nutrientes, enquanto outros se mantêm em níveis que levam ao desbalanço nutricional. Isso pode levar à deficiência de nutrientes para as culturas devido ao desequilíbrio químico do solo (Raij, 1991). A seguir são relatados alguns trabalhos de sistemas de rotação de culturas, envolvendo a cultura de soja, destacando-se os aspectos de fertilidade de solo.

## Efeitos da rotação de culturas na fertilidade química do solo

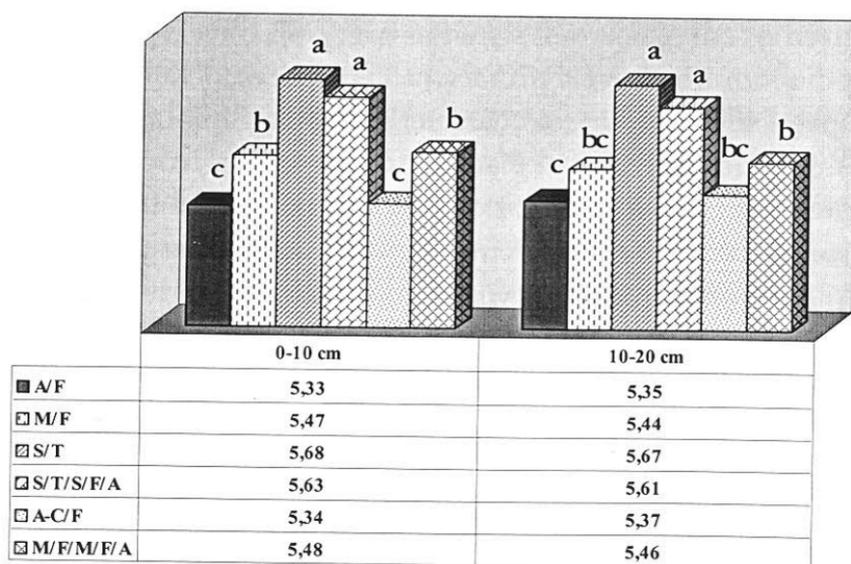
Em estudo conduzido por onze anos, envolvendo a cultura de soja, em Latossolo Vermelho Distroférico (Latossolo Roxo), no município de Campinas, SP, De Maria et al. (1999), observaram

que a rotação de culturas não influenciou o nível de nutrientes do solo, exceto para P extraível. Esse elemento, na monocultura de aveia preta/milho e na sucessão aveia preta/soja e aveia preta/milho foi reduzido, em comparação à monocultura aveia preta/soja e à sucessão aveia preta/soja e aveia preta/milho. Quanto aos valores de pH, de Ca, de Mg e de K trocável, a rotação de culturas não influenciou no nível no solo.

Franchini et al. (2000), após sete anos de cultivo em diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto, nos municípios de Campo Mourão e Londrina, PR, ambos em Latossolo Roxo distrófico, verificaram que algumas características químicas do solos foram significativamente alteradas. Os sistemas trigo/soja e tremoço/milho; e trigo/soja apresentaram comportamentos extremos em relação aos sistemas trigo/soja e aveia preta/soja; e tremoço/milho e aveia preta/soja. Os autores, observaram que houve acidificação do solo, caracterizada pela diminuição do pH e do teor de Ca trocável e aumento da acidez trocável (Al) e potencial (H + Al). O teor de N-total, também aumentou no sistema tremoço/milho. A maior perda de Ca, nesse estudo, foi atribuída à retirada pelo tremoço, que foi usado como cultura de cobertura de solo e de adubação verde e é cultura altamente extratora deste nutriente.

Silveira & Stone (2001), estudaram por seis anos, em Latossolo Vermelho perférrico, do município de Santo Antônio de Goiás, GO, sistemas de rotação que incluíram soja. Verificaram que, as rotações/sucessões soja/trigo e soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão propiciaram maiores valores de pH (Fig. 1) e de Ca + Mg trocáveis (Fig. 2) e menor de Al trocável (Fig. 3) que as rotações/sucessões arroz/feijão, milho/feijão, arroz consorciado com calopogônio/feijão e milho/feijão/milho/feijão/arroz/feijão, nas camadas 0-10 e 10-20 cm. De acordo com os mesmos autores, se a adubação

nitrogenada contribui para a reacidificação do solo, pode-se inferir que, provavelmente, isto está relacionado à presença da soja no sistema. O fato da cultura não ter recebido adubação nitrogenada contribuiu para minimizar essa reacidificação. De acordo com Paiva et al. (1996), a adubação sucessiva com sulfato de amônio acarretaria a redução do teor de bases trocáveis no solo. Além disso, as espécies vegetais diferem em sua capacidade de adaptar-se à acidez do solo provocada pelos fertilizantes nitrogenados. Santos & Roman (1989) observaram maiores teores de Ca + Mg trocáveis após sucessões com leguminosas do que após gramíneas. Miyazawa et al. (1993) verificaram que leguminosas provocaram maior diminuição no teor de Al trocável e na acidez do solo, em comparação com as gramíneas.

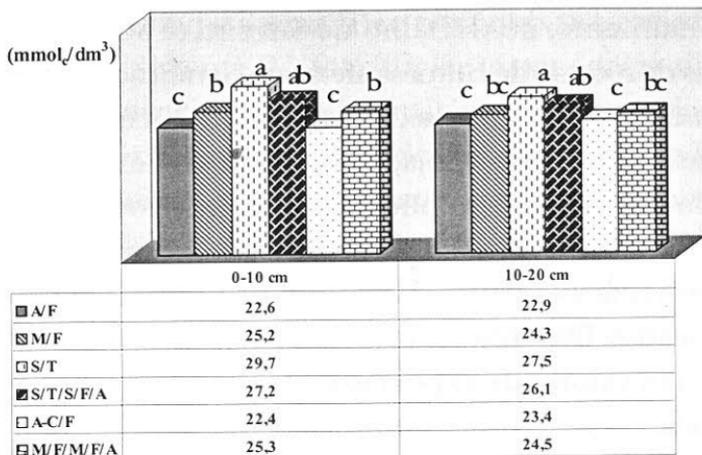


A: arroz, C: calopogônio, F: feijão, M: milho, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 1. Valores de pH, em duas camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas.

Fonte: Silveira & Stone (2001).

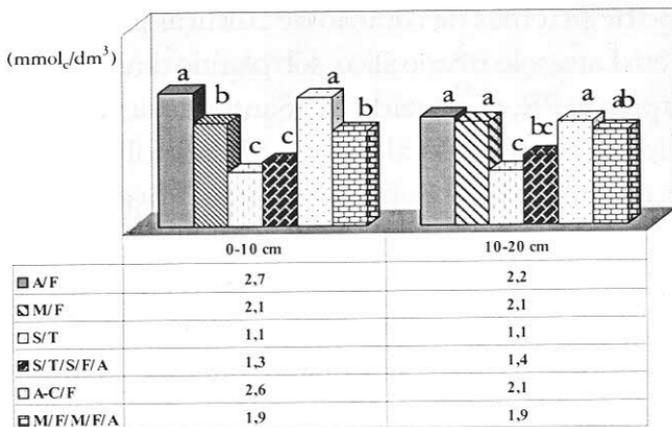


A: arroz, C: calopogônio, F: feijão, M: milho, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 2. Valores de Ca + Mg trocáveis, em duas camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas.

Fonte: Silveira & Stone (2001).



A: arroz, C: calopogônio, F: feijão, M: milho, S: soja e T: trigo.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 3. Valores de Al trocável, em duas camadas e diferentes sistemas de rotação de culturas.

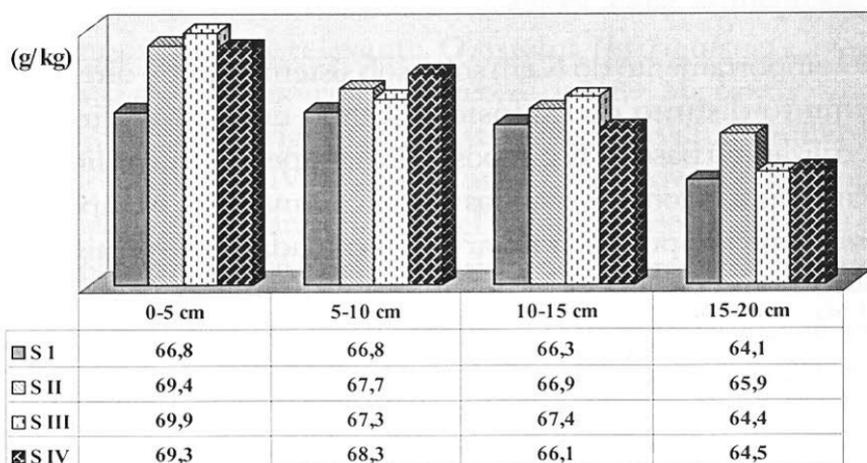
Fonte: Silveira & Stone (2001).

Adicionalmente, no trabalho de Silveira & Stone (2001), os sistemas de rotação de culturas afetaram significativamente o teor de K trocável. Este elemento, na camada 10-20 cm foi menor nos sistemas que incluíram soja, embora tais sistemas não tenham diferido de outros. Isto pode ser devido, provavelmente, às diferenças na exportação de K pelos grãos, considerando as diferentes rotações e rendimento obtido, e as diferentes doses de  $K_2O$  aplicadas. Das culturas estudadas, soja e feijão apresentaram os maiores valores de exportação de K por tonelada de grãos produzida.

Por outro lado, existem relativamente poucos trabalhos sobre experimentos de longa duração completos, ou seja, que levam em conta o efeito do ano agrícola, no qual todas as espécies contempladas nos sistemas devem estar obrigatoriamente presentes, tanto no inverno como no verão (Santos & Reis, 2001).

No estudo de sistemas de rotação de culturas para cevada, após 4,5 anos, em Latossolo Bruno álico, sob plantio direto, no município de Guarapuava, PR, conduzido por Santos & Siqueira (1996), foi verificado aumento dos valores de pH do solo e de Ca + Mg trocáveis conforme se aprofundava a camada de amostragem, enquanto o nível de matéria orgânica e os teores de Al, P extraível e K trocável apresentaram acúmulo na camada 0-5 cm, em relação a camada 10-15 cm. Os sistemas de rotação de culturas em que a cevada estava incluída não apresentaram diferenças entre as médias para pH, Al trocável e Ca + Mg trocáveis do solo. A sucessão cevada/soja mostrou menor nível de matéria orgânica do que os sistemas II (cevada/soja e ervilhaca/milho), III (cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) e IV (cevada/soja, linho/soja aveia branca/soja e ervilhaca/milho), na camada 0-5 cm (Fig. 4). A substituição de cevada nos sistemas de rotação por ervilhaca (sistema II), por

ervilhaca e por linho (sistema III) e por linho, por aveia branca e por ervilhaca (sistema IV) foi suficiente para determinar um acréscimo significativo no nível de matéria orgânica na superfície. A diferença cumulativa no aporte de biomassa de aveia branca e de ervilhaca contribuiu provavelmente para o acréscimo no nível de matéria orgânica, determinando a diferença significativa nas amostras coletadas em 0-5 cm. Nas demais camadas de solo, não houve diferença entre os sistemas para o nível de matéria orgânica.



S I: cevada/soja, S II: cevada/soja e ervilhaca/milho, S III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho e S IV cevada soja, linho/soja, aveia branca e ervilhaca/milho.

Fig. 4. Valores de matéria orgânica, em diferentes camadas e sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto.

Fonte: Santos & Siqueira (1996).

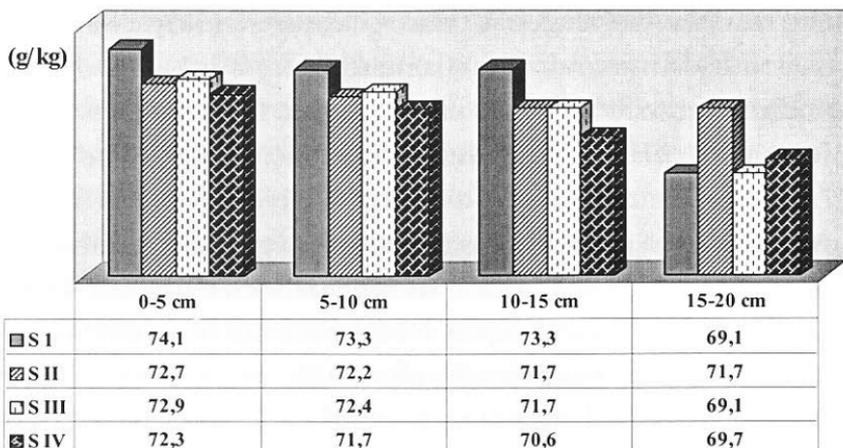
Como se trata de sistema plantio direto, o aumento de matéria orgânica ocorreu em virtude da não incorporação dos resíduos vegetais. Fósforo é um nutriente de baixa mobilidade e solubilidade de seus compostos, principalmente em solos ácidos, com teores

elevados de argila, de ferro e de alumínio. Isso permite o acúmulo desse nutriente em solo sob plantio direto, nas camadas superficiais, onde é depositado pela adubação ou pela decomposição dos resíduos vegetais. A maior eficiência de uso de P extraível pelas culturas deve-se, em parte, à maior disponibilidade de água na superfície, onde se encontram os nutrientes, e, em parte, à disponibilidade de formas orgânicas desse fósforo. A mineralização dessas formas de P permite uma disponibilidade contínua do elemento às plantas, evitando a fixação do mesmo no solo (Kochhann & Selles, 1991).

O comportamento do K em solos sob sistema plantio direto não é muito distinto do de fósforo. Como no plantio direto, o fertilizante à base de K é depositado na superfície ou na linha de semeadura, e, como os resíduos vegetais são mantidos na superfície, esse elemento pode acumular-se nas camadas superficiais. Isso, por sua vez, não chega a constituir uma limitação, pois é nessa região que se concentra o maior volume de raízes e de água no solo (Kochhann & Selles, 1991).

No trabalho de Santos & Tomm (1999) sobre diferentes sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto, em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava, PR, não foi observado, após cinco anos, diferença entre os sistemas estudados para pH, matéria orgânica e K trocável do solo. A explicação do porque os valores de pH, não diferiram entre si, está relacionada à aplicação de 11,7 t/ha de calcário cinco anos antes da avaliação final. O rendimento médio de grãos de soja dos sistemas, que era de 2.741 kg/ha, entre 1984/85 e 1989/90 aumentou para 3.295 kg/ha, entre 1990/91 e 1994/95 (Santos et al., 1998). Parte desse aumento no rendimento de grãos da soja, pode ser creditado à correção da acidez do solo. De abril de 1984 até maio de 1989, houve perda do

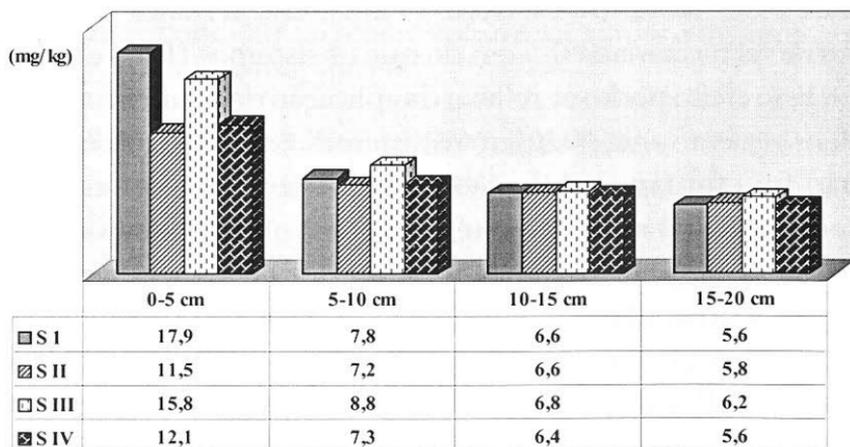
efeito residual da calagem e conseqüente reacidificação do solo, em virtude da mineralização da matéria orgânica e da adubação de culturas com fertilizantes nitrogenados. Deve ser considerado que, desde o primeiro período de avaliação (Santos & Tomm, 1996a), o valor médio de Ca + Mg trocáveis do solo (67 a 100 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), já era considerado elevado para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região (Sociedade, 2004). Para os teores de Al trocável e de Ca + Mg trocáveis, ocorreu diferença entre os sistemas estudados. Porém, a diferença observada entre o teor de Al trocável dos sistemas estudados, nessa avaliação não é agronomicamente relevante. O sistema II (trigo/soja e aveia branca/soja) apresentou menores teores de Ca + Mg trocáveis do que os sistemas I (trigo/soja), III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja) e IV (trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho). Para o P extraível, apenas na profundidade 0-5 cm foi observada diferença entre os sistemas de rotação de culturas para esse elemento. O sistema I apresentou maior valor de P extraível na camada 0-5 cm do que os sistemas II, III e IV (Fig. 5). Esse efeito pode ser reflexo da aplicação de adubos fosfatados duas vezes ao ano. Nos demais sistemas, em que havia ervilhaca não foi efetuado adubação de manutenção por ocasião da semeadura. O nível de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável (Fig. 5, 6 e 7), na maioria dos sistemas de rotação, declinaram gradativamente com aumento da profundidade de amostragem, da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Segundo Sidiras & Pavan (1985), o acúmulo de P extraível próximo à superfície do solo decorre das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e da menor fixação de P, devido ao menor contato desse elemento com os constituintes argilo-minerais do solo, uma vez que não há revolvimento de solo no sistema plantio direto.



S I: trigo/soja, S II: trigo/soja e ervilhaca/milho, S III: trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho e S IV: trigo/soja, aveia branca, cevada/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 5. Valores de matéria orgânica, em diferentes camadas e sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto.

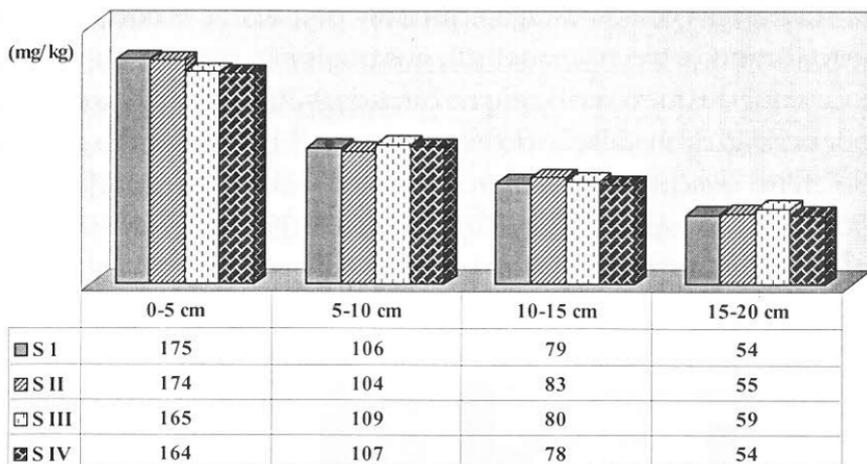
Fonte: Santos & Tomm (1996a).



S I: trigo/soja, S II: trigo/soja e ervilhaca/milho, S III: trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho e S IV: trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 6. Valores de P extraível, em diferentes camadas e sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto.

Fonte: Santos & Tomm (1996a).



S I: trigo/soja, S II: trigo/soja e ervilhaca/milho, S III: trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho e S IV: trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho.

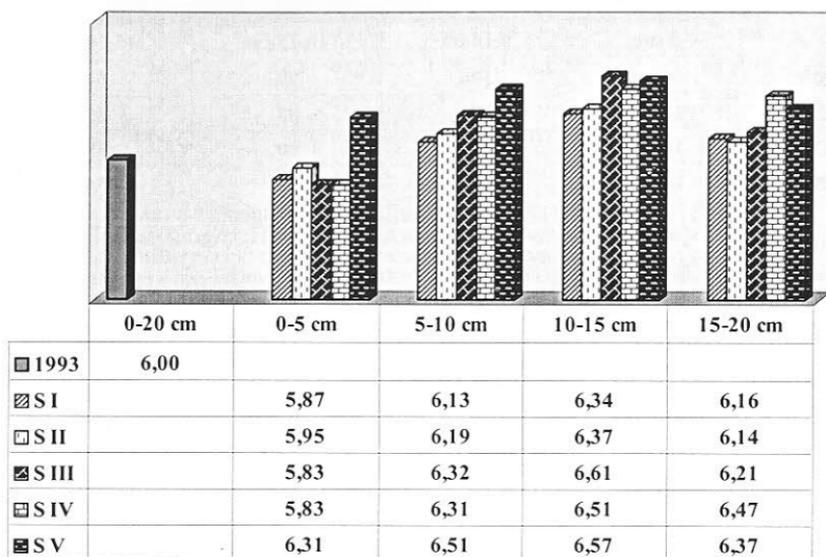
Fig. 7. Valores de K trocável, em diferentes camadas e sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto.

Fonte: Santos & Tomm (1996a).

## Efeito de modelos de produção na fertilidade química do solo

Santos et al. (2001), trabalhando com sistemas de produção mistos (lavoura + pecuária), sob plantio direto, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no município de Passo Fundo, RS, observaram que o valor de pH do solo, após cinco anos de cultivo, na camada 0-5 cm, nos quatro primeiros sistemas (I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de estação fria - festuca + cornichão + trevo branco e trevo vermelho; e IV:

pastagem perene de estação quente - pensacola + cornichão + trevo branco e trevo vermelho), nos quais não se aplicou calcário, foi menor do que o verificado na camada 0-20 cm de profundidade, por ocasião da instalação do experimento (Fig. 8). A perda gradual do efeito residual da calagem que fora realizada antes do início deste estudo explica as alterações observadas.



S I: trigo/soja, aveia branca e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: pastagens perenes de estação fria, S IV: pastagens perenes de estação quente e S V: alfafa.

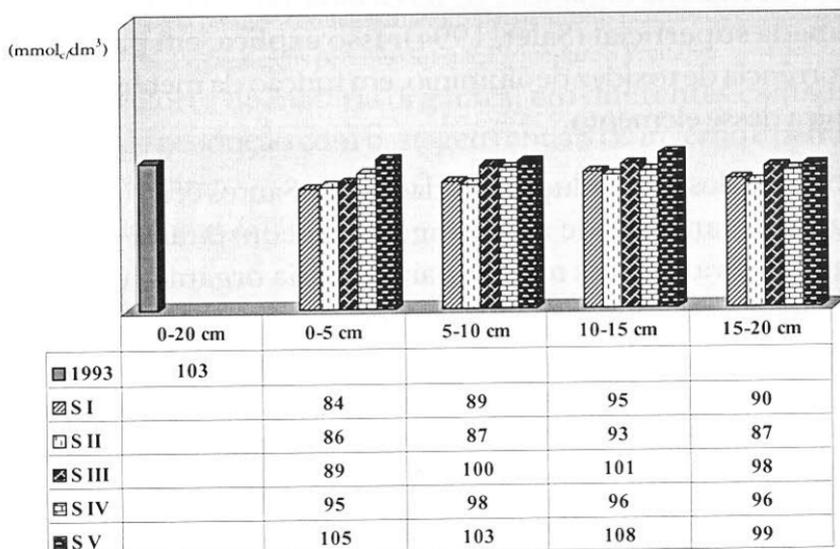
Fig. 8. Valores de pH, em diferentes camadas e sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto.

Fonte: Santos et al. (2001).

Parte da resposta positiva das culturas à calagem pode ocorrer pelo aumento de absorção de N pelas plantas (Edmeades et al., 1981). A acidificação do solo tende a reduzir a absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas. Isso não foi

verificado entre os modelos de produção estudados (Santos et al., 2001), devido ao acúmulo de matéria orgânica na superfície em função do sistema plantio direto.

Nesse mesmo trabalho, o sistema V (alfafa para corte) apresentou valor significativamente maior de pH na camada 0-5 cm do que o dos demais sistemas e na camada 5-10 cm, em comparação ao do sistema I. Isso foi resultado da aplicação de calcário, em 1994, no sistema V. Por sua vez, não foram observadas diferenças entre o teor de Al trocável dos cinco sistemas de produção estudados. O sistema V, entretanto, apresentou maior valor de Ca + Mg trocáveis na camada 0-5 cm do que os dos sistemas II e III (Fig. 9).



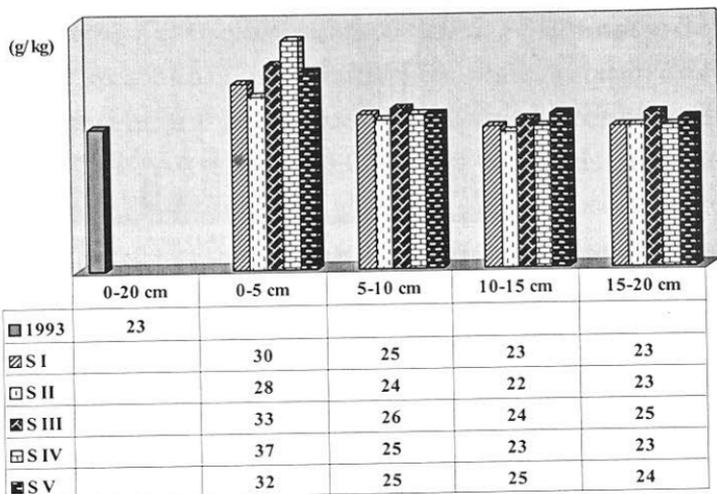
S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca, S III: pastagens perenes de estação fria, S IV: pastagens perenes de estação quente e S V: alfafa.

Fig. 9. Valores de Ca + Mg trocáveis, em diferentes camadas e sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto.

Fonte: Santos et al. (2001).

No trabalho de Santos et al. (2001), o nível de matéria orgânica do solo observado em todas as camadas manteve-se próximo, igual ou superior ao valor medido na camada 0-20 cm, por ocasião da instalação do experimento, indicando que a adoção do plantio direto pode contribuir para aumento do nível de matéria orgânica e, conseqüentemente, da fertilidade do solo, independentemente da quantidade de fertilizante aplicado. Nos primeiros anos de adoção do plantio direto, verifica-se tendência de elevação do valor de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo, pois o nível de equilíbrio situa-se em valores intermediários entre aqueles sob vegetação natural e aqueles sob preparo convencional de solo. Dessa forma, o sistema plantio direto apresenta maior valor de matéria orgânica e de força iônica da solução do solo na camada superficial (Salet, 1994). Isso explica, em parte, a não ocorrência de toxidez de alumínio, em função da menor atividade iônica desse elemento.

Nos modelos de produção estudados por Santos et al. (2001), em algumas camadas de amostragem, foi constatada diferença significativa entre as médias para matéria orgânica do solo. O sistema IV promoveu nível de matéria orgânica maior do que o dos sistemas I e II, na camada de 0-5 cm (Fig. 10). Nessa mesma camada, os sistemas III e V foram superiores ao II, para nível de matéria orgânica. Essa diferença entre os modelos pode ser explicada, em parte, pela presença de leguminosas perenes destinadas ao pastejo ou corte (alfafa, cornichão, trevo branco e trevo vermelho), nos sistemas IV e V, em comparação aos sistemas I e II. O aumento no nível de matéria orgânica do solo, nestes sistemas propiciou também, aumento no rendimento de grãos de soja, conforme avaliação realizada por Santos et al. (2003). O uso de leguminosas promove reciclagem de nutrientes e o aumento do teor de N em sistemas pode ser importante estratégia para atingir a agricultura sustentável.

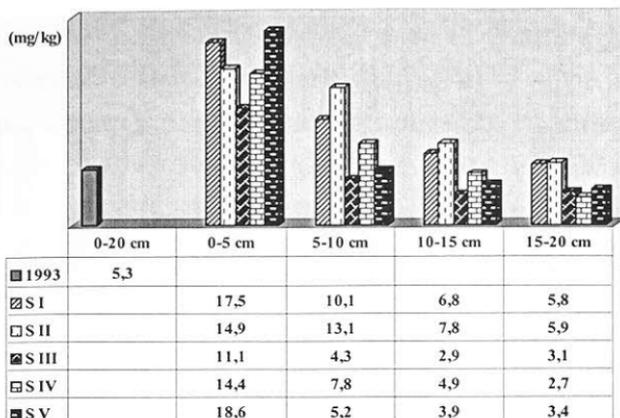


S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: pastagens perenes de estação fria, S IV: pastagens perenes de estação quente e S V: alfafa.

Fig. 10. Valores de matéria orgânica, em diferentes camadas e sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto.

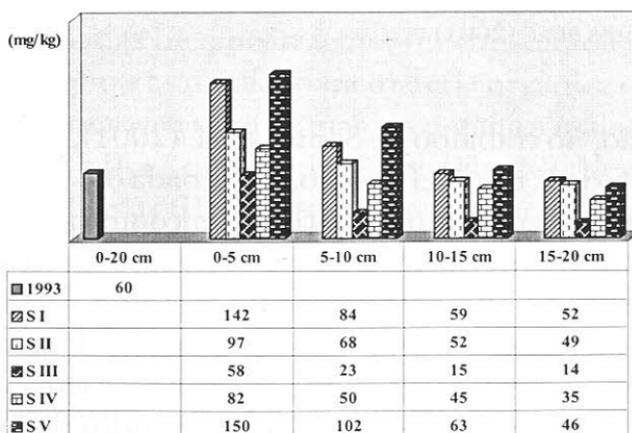
Fonte: Santos et al. (2001).

Em adição, no trabalho de Santos et al. (2001), os teores de P extraível e de K trocável do solo, na camada 0-5 cm do solo, na maioria dos sistemas estudados (I e II), encontravam-se acima do valor considerado crítico para o crescimento e desenvolvimento de culturas (Reunião, 1999). Assim, o sistema plantio direto provoca alterações nas propriedades químicas do solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas espécies cultivadas. Em todos os sistemas, os teores de P extraível (Fig. 11) e de K trocável (Fig. 12) diminuíram da camada 0-5 cm até a camada 15-20 cm. Assim, os modelos de produção sob plantio direto elevaram o nível de matéria orgânica e os teores de P extraível e de K trocável, principalmente na camada 0-5 cm, em relação ao preparo convencional de solo.



S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: pastagens perenes de estação fria, S IV: pastagens perenes de estação quente e S V: alfafa.

Fig. 11. Valores de P extraível, em diferentes camadas e sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto. Fonte: Santos et al. (2001).



S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca, S III: pastagens perenes de estação fria, S IV: pastagens perenes de estação quente e S V: alfafa.

Fig. 12. Valores de K trocável, em diferentes camadas e sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto. Fonte: Santos et al. (2001).

Santos & Tomm (2003), comparando sistemas de manejo de solo, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no município de Passo Fundo, RS, não encontraram, após oito anos, diferenças entre os valores de pH, de Al trocável, de Ca + Mg trocáveis e de matéria orgânica do solo dos diferentes sistemas de rotação de culturas. Isso indica que as espécies componentes dos sistemas não promoveram diferenças entre os parâmetros de fertilidade do solo avaliados. No entanto, a monocultura trigo/soja (sistema I), na profundidade 5-10 cm, mostrou maior teor de P extraível em relação ao sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho), e, na camada 5-10 cm, o teor de potássio trocável, foi maior no sistema I do que no sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho). Além disso, o sistema I apresentou maior teor de K do que os sistemas II e III, nas camadas 10-15 cm e 15-20 cm. Essa diferença entre os sistemas pode ser explicada, em parte, pelo fato de a ervilhaca ser estabelecida como cultura de cobertura de solo e de adubação verde, não recebendo adubação de manutenção. Neste caso, houve acúmulo de P, na primeira camada do solo estudada, em função da adubação de manutenção anual. O nível de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável, em todos os sistemas de rotação, decresceram progressivamente da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm, indicando tendência de acúmulo de matéria orgânica e nutrientes nas primeiras camadas.

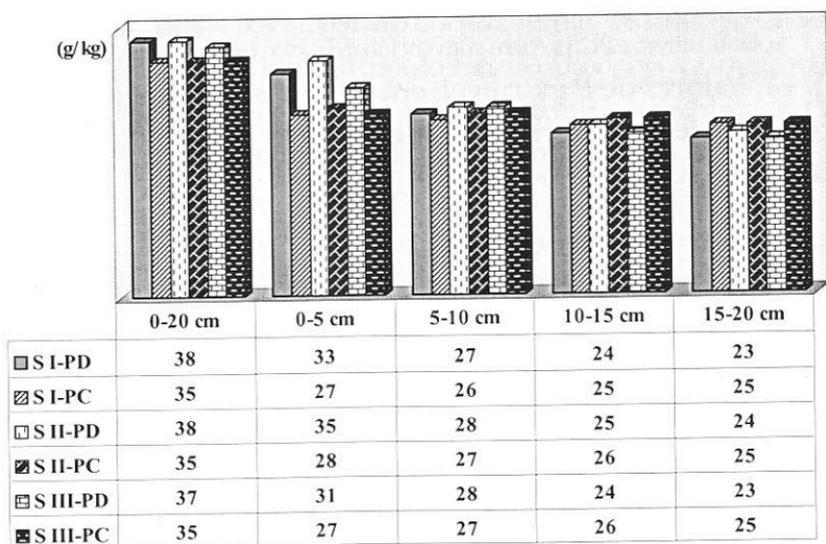
O plantio direto difundiu-se nas lavouras no Sul do Brasil. O emprego desse sistema de manejo, após alguns anos, resulta em uma série de modificações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, em relação ao preparo convencional de solo com arado de discos (Muzilli, 1985). Com base nessas mudanças, Wiethölter et al. (1998) sugerem alterações nas recomendações de P e K em consonância com as vantagens que o sistema plantio direto apresenta.

A comparação dos atributos do solo entre plantio direto e preparo convencional com aração e/ou gradagem tem sido relatada em vários trabalhos de longa duração, sem rotação de culturas (Rheinheimer et al., 1998; Schlindwein & Anghinoni, 2000). Porém, existem poucos trabalhos de longa duração comparado plantio direto com preparo convencional de solo sob rotação de culturas (Muzilli, 1985; Sidiras & Pavan, 1985; Santos et al., 1995; Salet, 1998). Além disso, estudos comparando outros sistemas de manejo de solo, além do plantio direto e do preparo convencional, no que se refere às propriedades químicas do solo, são relativamente escassos.

Santos et al. (1995), avaliando atributos químicos de modelos de produção, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no município de Passo Fundo, RS, observaram após sete anos, que o pH, o Al trocável, o Ca + Mg trocáveis e o K trocável, não foram alterados pela seqüência de culturas ou pelo sistema de manejo de solo, após aplicação de calcário. Neste estudo, o calcário foi aplicado (2,0 t/ha) quatro anos após o início do experimento, sendo que nas parcelas sob plantio direto, foi aplicado em superfície e sob manejo convencional com arado com disco, o calcário foi incorporado. A aplicação de corretivo nas parcelas sob plantio direto foi eficiente para manutenção do pH, evitando-se a reacidificação superficial do solo, principalmente em função do uso de fertilizantes nitrogenados. A não incorporação do mesmo sob plantio direto não afetou o rendimento de grãos de soja. O nível de matéria orgânica (Fig. 13) e o de P extraível (Fig. 14) foi consistentemente maior em manejo sob plantio direto do que sob preparo convencional de solo, na camada 0-5 cm, para as três seqüências de culturas estudadas (cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja; e aveia

branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho). Esse resultado indica que há benefício do sistema plantio direto para a manutenção dos níveis de matéria orgânica e, provavelmente, da capacidade de suprimento de nitrogênio do solo, que é o nutriente mais limitante ao rendimento das culturas anuais.

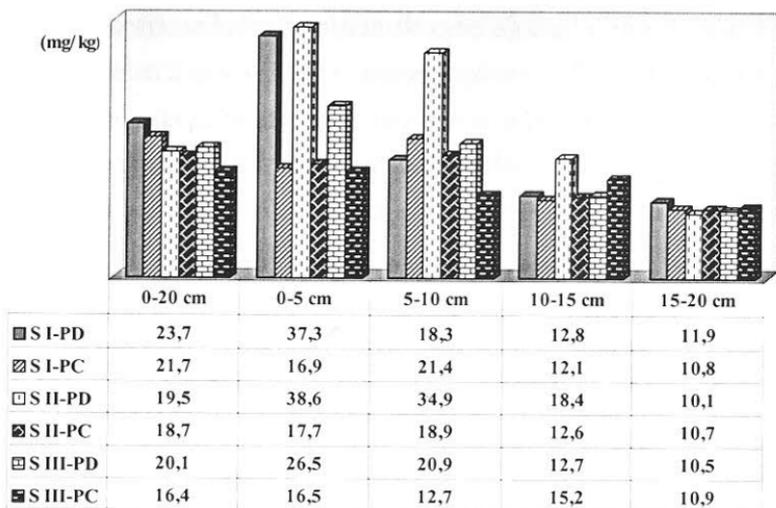
De Maria et al. (1999), em ensaio sobre rotação de culturas e tipos de manejo, observaram após onze anos sob plantio direto, acúmulo de matéria orgânica, de P extraível, de Ca, de Mg e de K trocável, na camada 0-5 cm, em relação ao cultivo mínimo e ao preparo convencional de solo. Isso, ocorreu principalmente em sistema de rotação composto por milho e por soja.



S I: cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, S II: ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja e S III: aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho. PD: plantio direto e PC: preparo convencional de solo com arado de discos.

Fig. 13. Valores de matéria orgânica, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1992.

Fonte: Santos et al. (1995).



S I: cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, S II: ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja e S III: aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho. PD: plantio direto e PC: preparo convencional de solo com arado de discos.

Fig. 14. Valores de P extraível, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1992.

Fonte: Santos et al. (1995).

Em trabalho desenvolvido por Silveira & Stone (2001), as diferenças verificadas, após seis anos, entre os sistemas de manejo de solo (arado/grade, arado, grade e plantio direto), quanto aos valores de pH, de Al e de Ca + Mg trocáveis, deveram-se à profundidade de mobilização do solo e à incorporação de calcário. Dessa maneira, houve diferenças relativamente pequenas entre os sistemas de manejo de solo, para pH, Al, Ca + Mg trocáveis, na camada 0-10 cm. O solo sob plantio direto também apresentou maior teor de Al e, menor teor de Ca + Mg, na camada 10-20 cm, em comparação ao preparo convencional com arado. No plantio direto, o calcário aplicado, após três anos de experimentação, não foi incorporado, o que retardou o efeito de correção de acidez nas camadas mais profundas do solo, enquanto que, no preparo

convencional com arado, o calcário foi incorporado, corrigindo em curto tempo a acidez das camadas mais profundas. O nível de matéria orgânica não foi afetado pelo sistema de manejo de solo (mesmo quando se promoveu revolvimento do solo). A distribuição do K trocável e do P extraível no perfil do solo variou de acordo com a profundidade em que o solo foi mobilizado pelos diferentes sistemas de manejo, especialmente no caso do P, no qual a menor mobilização causou maior concentração na camada superficial. O preparo convencional com grade propiciou maior teor de P na camada superficial, em comparação ao preparo convencional com arado e não diferiu do plantio direto, uma vez que o revolvimento do solo com grade é superficial.

Ciotta et al. (2002), trabalhando com sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava, PR, verificaram após doze anos, acidificação na camada 0-5 cm, sob plantio direto, em comparação com preparo convencional de solo com arado de discos. A acidificação do solo sob plantio direto provavelmente estaria relacionada ao aumento da concentração eletrolítica, evidenciado pela maior condutividade elétrica, e à aplicação de fertilizantes de reação ácida, que, por não serem incorporados, terminavam por concentrar-se na superfície do solo gerando efeito ácido pela nitrificação do amônio (Blevins et al., 1983) e pela dissolução dos fosfatos solúveis de cálcio (Ernani et al., 2001). Por outro lado, os teores de Ca + Mg e de K trocáveis, sob plantio direto foram maiores, em relação ao preparo convencional de solo, na camada superficial. Neste mesmo trabalho, na camada de 0-2 cm, os teores de Ca + Mg trocáveis sob plantio direto chegaram a ser aproximadamente duas vezes maiores do que sob preparo convencional de solo. O maior acúmulo de bases trocáveis na camada superficial no solo sob plantio direto resultou da ciclagem dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais

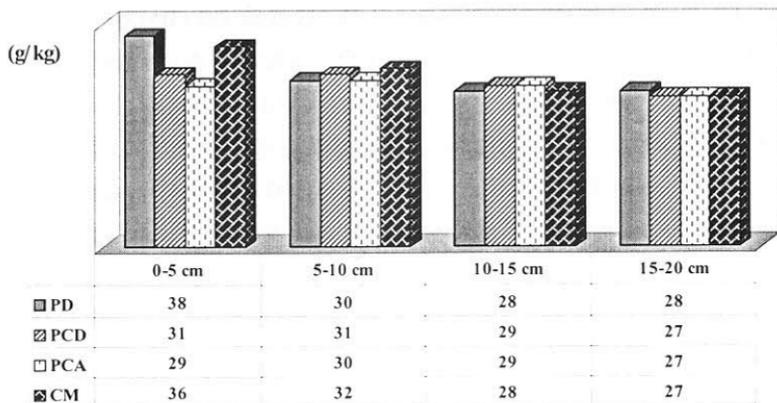
mantidos sobre o solo, basicamente, fertilizantes potássicos e fosfatos solúveis, este por conter Ca em sua composição. Porém, o acúmulo de P no solo foi maior até 10 cm de profundidade sob plantio direto, em relação ao solo sob preparo convencional com arado de discos.

A não incorporação do fertilizante ao solo no sistema plantio direto diminui o contato solo-fertilizante e, conseqüentemente, a intensidade das reações de adsorção do fosfato. Acredita-se que esse fator seja responsável, em grande parte, pelos maior teor de P disponível no solo sob plantio direto, principalmente no caso de solo argiloso e com mineralogia predominantemente gibítica.

No período de 1978 a 2000, foram avaliadas 39 safras por Ernani et al. (2001), das quais 18 de soja, quatro de milho, sete de trigo, sete de cevada e três de aveia branca. A soja, no período, rendeu 42% a mais no sistema plantio direto, em comparação ao preparo convencional de solo com arado de discos.

Em trabalho conduzido por Santos & Tomm (2003), sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no município de Passo Fundo, RS, observaram após oito anos, que os níveis de matéria orgânica (Fig. 15), de P extraível (Fig. 16) e de K trocável (Fig. 17), na camada 0-5 cm foram mais elevados nos sistemas conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto), do que os observados nos preparos convencionais de solo (com arado de discos e com arado de aivecas). Os valores de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável foram mais elevados na camada 0-5 cm, quando comparados com os verificados na camada 15-20 cm, em todos os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. Na camada 0-5 cm, o preparo convencional de solo com arado de aivecas apresentou maior valor de Al (Fig. 18) do que o plantio direto, o

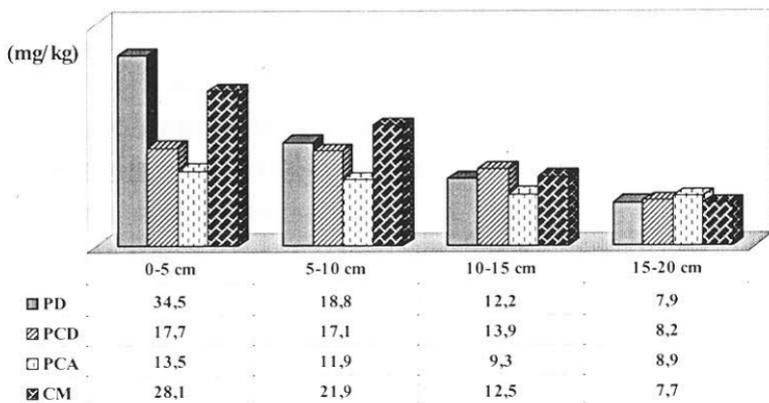
preparo convencional de solo com arado de discos e o cultivo mínimo. A provável complexação desse elemento pelos compostos orgânicos, gerados no processo de decomposição dos resíduos vegetais (Salet, 1994), provavelmente, contribuiu, nas condições edáficas do plantio direto, para o menor valor de Al na camada mais superficial do solo. Neste caso, o Al teria menor efeito tóxico sob plantio direto, em relação ao preparo convencional de solo, em virtude de presença de ligantes orgânicos. Na camada 0-5 cm, o plantio direto e o cultivo mínimo mostram nível de matéria orgânica e teores de P extraível e de K trocável maiores do que os preparos convencionais de solo com arado de discos e com arado de aivecas. Do ponto de vista prático, o plantio direto tem por objetivo aumentar a matéria orgânica do solo, de maneira a aumentar o estoque de N e beneficiar a estrutura física do solo em termos de densidade do solo, uma vez que um solo com adequada estruturação física facilita as operações de semeadura e evita o surgimento de fatores físicos (por exemplo compactação) que prejudiquem o desenvolvimento das plantas (Derpsch et al., 1991). Além disso, os sistemas conservacionistas do solo contribuem para a manutenção da matéria orgânica na superfície, e, após vários anos, provavelmente para o aumento da capacidade de suprimento de N do solo, nutriente mais limitante ao rendimento da maioria das gramíneas. A manutenção do nível de matéria orgânica em valor mais elevado nos sistemas conservacionistas decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície em virtude da não incorporação física por meio do revolvimento do solo, diminuindo assim, a taxa de mineralização. O acúmulo de P nos sistemas conservacionistas decorre da restrita perturbação do solo por ocasião da incorporação de sementes, de fertilizantes e da baixa mobilidade desse nutriente no solo (Wiethölter, 2000). Grande parte dessas considerações também são válidas para o K do solo.



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 15. Valores de matéria orgânica, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1993.

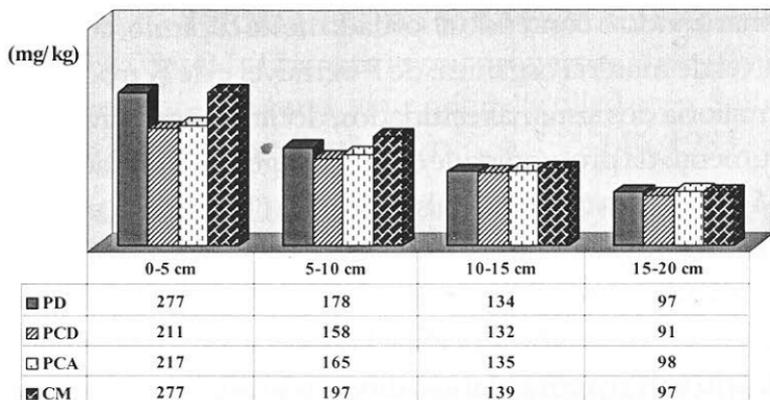
Fonte: Santos & Tomm (2003).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 16. Valores de P extraível, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1993.

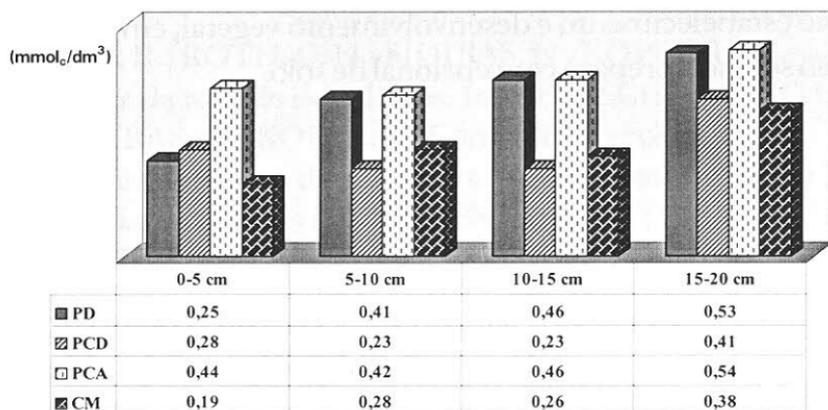
Fonte: Santos et al. (2003).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 17. Valores de K trocável, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1993.

Fonte: Santos & Tomm (2003).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 18. Valores de Al trocável, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1993.

Fonte: Santos & Tomm (2003).

Sumarizando o conteúdo abordado neste capítulo, conclui-se que o nível de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável do solo, na maioria dos sistemas estudados, declinou gradativamente com o aumento da profundidade de amostragem, da camada superficial (0-5 cm) para a camada mais profunda (15-20 cm), evidenciando acúmulo superficial. Os modelos de produção contendo leguminosas perenes foram mais eficientes no acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo. A não incorporação de calcário sob sistema plantio direto não afetou o rendimento de grãos de cevada e de soja. O maior rendimento de culturas observado no sistema plantio direto revela que o possível efeito negativo da acidificação do solo, evidenciada pelo menor valor de pH e a maior concentração de Al nas camadas superficiais do solo neste sistema conservacionista, tenha sido compensado pela maior concentração de bases trocáveis e disponibilidade de fósforo, determinando, desta forma, um ambiente edáfico mais favorável ao estabelecimento e desenvolvimento vegetal, em comparação ao solo sob preparo convencional de solo.

## Referências Bibliográficas

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; FERNANDES, S. W.; MIELNICZUK, J. Teores de carbono e nitrogênio total em solo Podzólico Vermelho-Escuro submetido nove anos a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. Resumos... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 2036-2038.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; SMITH, M. S.; FRYE, W. W.; CORNELIUS, P. L. Changes in soil properties after 10 years of continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 135-146, 1983.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

DEBARBA, L.; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 473-480, 1997.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.

DERPSCHE, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPRE, U. Importância da rotação de culturas. In: DERPSCHE, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPRE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ; IAPAR, 1991. p. 147-164.

EDMEADES, D. C.; JUDO, M.; SARATHCHANDRA, S. U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. *Plant & Soil*, The Hague, v. 60, n. 2, p. 177-186, 1981.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfato, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. Rotação de culturas e culturas alternativas no sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1991. p. 9-20. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto, In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Ed.). *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 147-160.

PAIVA, P. J. R.; VALE, F. R. do; FURTINI NETO, A. E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 1, p. 71-75, 1996.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 31., 1999, Passo Fundo. *Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo – 1999*. Passo Fundo, 1999, 86 p.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. *Plantio direto no Brasil*. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; FUNDACEP FECOTRIGO; Fundação ABC; Aldeia Norte, 1993. p. 37-60.

SALET, R. L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. 1994. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALET, R. L. Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. 1998. 109 p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 45-653, 2001.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. Efeito de pastagens anuais e perenes no rendimento de grãos de soja, sob plantio direto. In: CONGRESSO MUNDIAL SOBRE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 2., 2003. Produzindo em harmonia com a natureza: resumos expandidos e poster. Fóz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha; Confederación de Asociaciones Americanas para la Agricultura Sustentavel, 2003. v. 2, p. 201-203.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 3, p. 289-295, mar. 1998.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. In: SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em plantio direto. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*, 2001. Cap. 1, p. 11-132.

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Rotação de culturas. XIV. Efeito de culturas de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica do solo, no período agrícola de 1980 a 1986. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 3, p. 303-310, 1989.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. F. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 1, p. 163-169, 1996.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Estudos da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 3, p. 407-414, 1996a.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Fertilidade do solo em rotação de culturas com triticale. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 3, p. 415-421, 1996b.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação de culturas com cevada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.  
Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto alegre, 2004. 400 p.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000. Santa Maria, Brasil. Fertbio 2000: biodinâmica do solo. Santa Maria: UFSM - Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos, 2000. 1 CD-ROM.

WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1998. p. 121-149.

STEWART, B. A.; LAL, R.; EL-SWAIFY, S. A. Sustaining the resource of an expanding world agriculture. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. (Ed.). Soil management for sustainability. Ankeny: Iowa Soil Management for Sustainability; Soil and Water Conservation Society, 1991. 189 p.



## Efeito de Modelos de Produção nos Atributos Físicos do Solo, sob Plantio Direto

*Silvio Tulio Spera, Henrique Pereira dos  
Santos, Renato Serena Fontaneli, Gilberto  
Omar Tomm & Rainoldo Alberto Kochhann*

---

### Introdução

A degradação da estrutura do solo pode afetar o desenvolvimento vegetal. O manejo incorreto do solo leva à formação de camadas compactadas próximo à superfície do solo. Essas camadas têm sido apontadas como um dos principais indicadores de degradação do solo e causa do decréscimo do rendimento de culturas. Essas camadas são consequência da elevada intensidade de revolvimento do solo, de trânsito não controlado de máquinas, de tipos de equipamentos, de manejo inadequado do solo, da pouca disponibilidade de resíduos vegetais e das condições hídricas no momento de preparo (Stone & Silveira, 2001).

O preparo do solo por meio de grande aradora, foi no passado, o mais usado, na região Sul do Brasil. O uso contínuo desse implemento levou a formação de camadas compactadas subsuperficiais. O arado de aivecas era pouco usado, pois requeria maior tempo e energia nas operações de preparo do solo, embora apresentasse tendência de propiciar maior rendimento de milho (Kluthcouski, 1998), em comparação ao preparo convencional do

solo com grade aradora e ao plantio direto.

A compactação de solo tem sido verificada em latossolos do Rio Grande do Sul independente de estarem sendo manejados sob plantio direto, cultivo mínimo ou preparo convencional. Spera et al. (2000) observaram valores de densidade do solo variando de 1,20 a 1,37 Mg/m<sup>3</sup> em lavouras manejadas sob sistema plantio direto com rotações de culturas que incluem pastagens anuais de inverno. Entretanto, os autores verificaram também densidade do solo variando de 1,29 a 1,38 Mg/m<sup>3</sup> em áreas submetidas ao preparo convencional com aração e gradagem. Esses dados indicam que problemas relacionados à compactação de solo não ocorrem apenas em condições de sistema plantio direto, evidenciando que há probabilidade de serem remanescentes do preparo convencional antecedente.

O sistema plantio direto tem sido largamente adotado no Sul do Brasil e tem contribuído para a sustentabilidade de modelos de produção agrícolas intensivos, por manter o solo coberto por resíduos vegetais, minimizando os efeitos da erosão (Albuquerque et al., 1995). Entretanto, sob plantio direto, o solo apresenta freqüentemente, na camada superficial, após algum tempo de adoção, maiores valores para densidade do solo e microporosidade e menores valores para macroporosidade e porosidade total. Derpsch et al. (1991) constataram que a densidade do solo foi maior e a porosidade total e a macroporosidade foram menores, sob plantio direto, em comparação com preparo convencional do solo com arado de discos. Por outro lado, a diminuição da porosidade total da camada superficial para camada mais profunda, indica degradação da estrutura do solo, pela formação de “pé-de-arado” (ou pé-de-grade). Porém, de acordo com Reeves (1995), com o passar dos anos, a densidade do solo, sob plantio direto pode diminuir, em função do aumento do nível de matéria orgânica

na camada superficial.

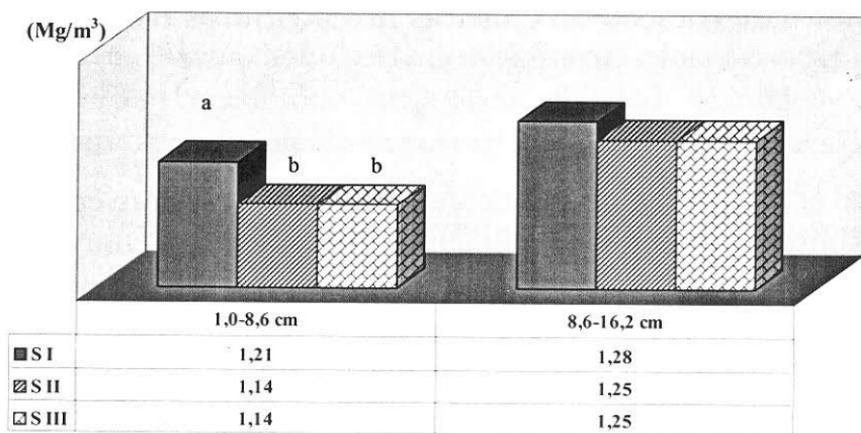
A rotação de culturas, pela introdução de espécies com sistema radicular agressivo e pelo acúmulo de resíduos orgânicos de diferente natureza e quantidades, pode também alterar as propriedades físicas do solo. De acordo com Reinert (1993), cada cultura tem efeito diferenciado sobre a densidade de solo, contribuindo para a conservação e restauração da estrutura deste. A seguir são relatados alguns trabalhos de sistemas de rotação de culturas, envolvendo a cultura de soja, quanto aos aspectos físicos e estruturais do solo.

## Efeito de rotação de culturas nos atributos físicos do solo

Lal et al. (1994) após 28 anos, avaliando experimento em solo Wooster silt loam (Typic Fragiudalf), nos EUA, encontraram diferenças entre os sistemas de manejo de solo e rotação de culturas para densidade do solo. A monocultura de milho ( $1,18 \text{ Mg/m}^3$ ) apresentou menor densidade do que milho/soja ( $1,24 \text{ Mg/m}^3$ ) e milho/aveia ( $1,28 \text{ Mg/m}^3$ ). Por outro lado, o plantio direto apresentou menor densidade do solo ( $1,18 \text{ Mg/m}^3$ ), em comparação ao cultivo mínimo ( $1,25 \text{ Mg/m}^3$ ) e ao preparo convencional de solo ( $1,27 \text{ Mg/m}^3$ ). A menor densidade do solo, sob sistema plantio direto foi atribuída à decomposição dos resíduos vegetais mantidos, em função do aumento do nível de matéria orgânica na superfície do solo (Reeves, 1995).

Em trabalho conduzido por seis anos, envolvendo a cultura de

soja, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, no município de Cruz Alta, RS, Albuquerque et al. (1995), verificaram que a densidade do solo na camada de 1,0-8,6 cm foi maior e a porosidade total foi menor na sucessão trigo/soja que nos sistemas de rotação de culturas: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; e trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja, independentemente do sistema de manejo de solo adotado (fig. 1 e 2). Esse fato foi atribuído à presença de aveia preta, que devido ao sistema radicular agressivo, contribuiu para a reestruturação do solo. Porém, não foi encontrada diferença entre preparo convencional de solo e plantio direto para os valores de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

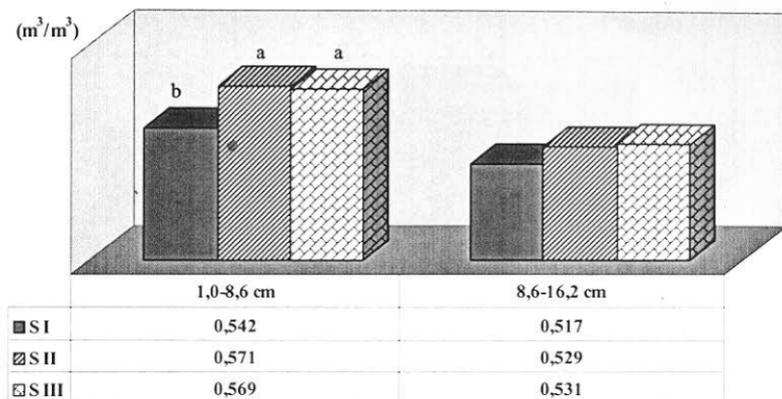


S I: trigo/soja, S II: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta + ervilhaca/milho e S III: trigo/soja aveia preta/soja e aveia preta/soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 1. Valores de densidade de solo, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1992.

Fonte: Albuquerque et al. (1995).



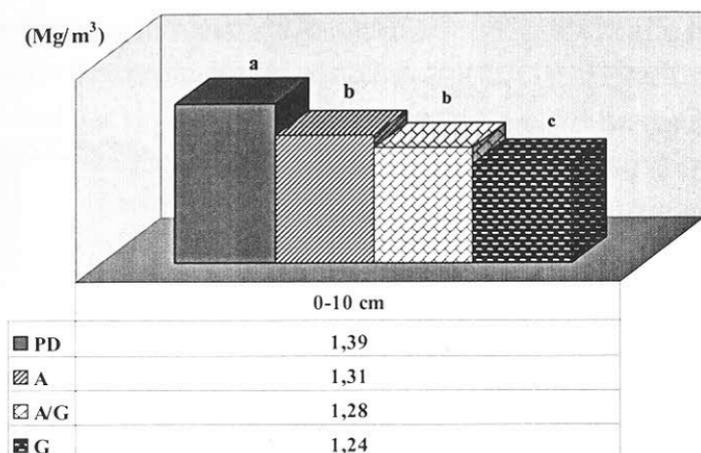
S I: trigo/soja, S II: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta + ervilhaca/milho e S III: trigo/soja aveia preta/soja e aveia preta/soja.

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 2. Valores de porosidade total, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 1992.

Fonte: Albuquerque et al. (1995).

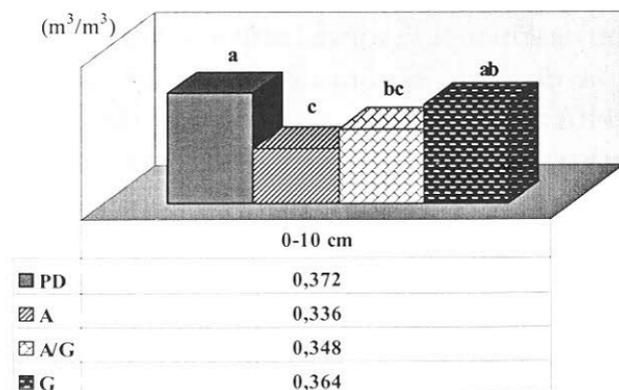
Em trabalho desenvolvido sobre Latossolo Vermelho perférrico, no município de Santo Antônio de Goiás, GO, Stone & Silveira (2001), verificaram que, em sistema plantio direto ocorreu densidade do solo e microporosidade maiores que em preparo convencional de solo com arado de discos, em preparo somente com arado de discos e em preparo somente com grade, na camada 0-10 cm (fig. 3 e 4). Para porosidade total e macroporosidade ocorreu o inverso (fig. 5 e 6). Por outro lado, maior densidade do solo foi observada nas sucessões trigo/soja e nas rotações soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão e arroz/feijão enquanto que a menor densidade do solo foi obtida na rotação milho/feijão/milho/feijão/arroz/feijão, na camada 0-10 cm (Fig. 7). Para microporosidade os maiores valores ocorreram nas mesmas sucessões citadas acima mais na sucessão milho/feijão e a menor na sucessão arroz consorciado com calopogônio/feijão (Fig. 8).



PD: plantio direto, A: arado, A/G: arado/grade e G: grade  
 Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 3. Valores de densidade do solo, em sistemas de manejo de solo, avaliados em vários anos.

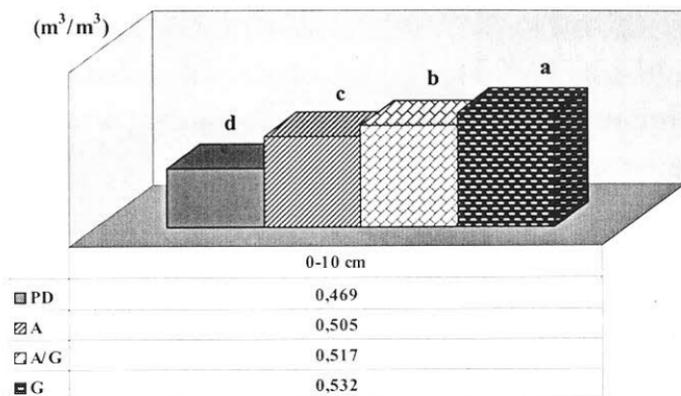
Fonte: Stone & Silveira (2001).



PD: plantio direto, A: arado, A/G: arado/grade e G: grade  
 Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 4. Valores de microporosidade, em sistemas de manejo de solo, avaliados em vários anos.

Fonte: Stone & Silveira (2001).

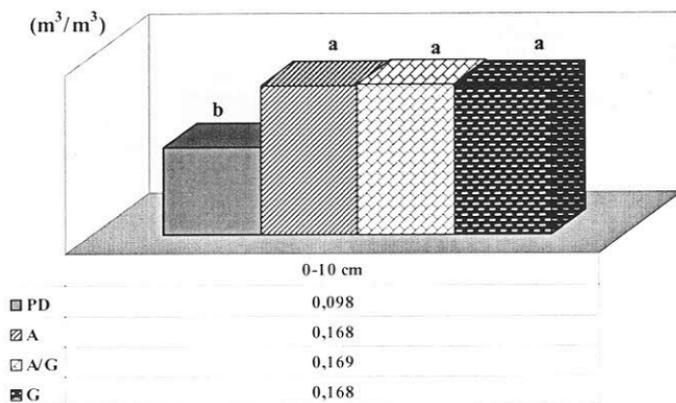


PD: plantio direto, A: arado, A/G: arado/grade e G: grade

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 5. Valores de porosidade total, em sistemas de manejo de solo, avaliados em vários anos.

Fonte: Stone & Silveira (2001).

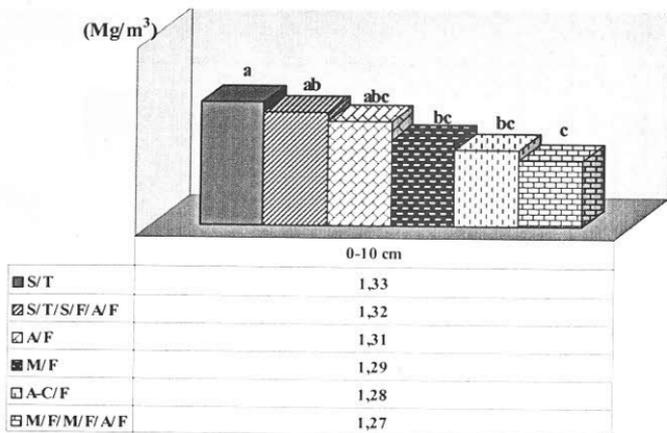


PD: plantio direto, A: arado, A/G: arado/grade e G: grade

Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 6. Valores de macroporosidade, em sistemas de manejo de solo, avaliados em vários anos.

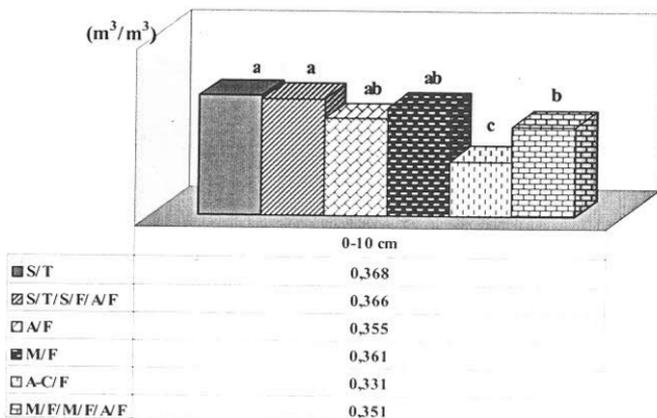
Fonte: Stone & Silveira (2001).



A: arroz, C: calopogônio, F: feijão, M: milho, S: soja e T:trigo  
 Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 7. Valores de densidade, em sistemas de rotação de culturas, avaliados vários anos.

Fonte: Stone & Silveira (2001).



A: arroz, C: calopogônio, F: feijão, M: milho, S: soja e T:trigo  
 Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 8. Valores de microporosidade, em sistemas de rotação de culturas, avaliados em vários anos.

Fonte: Stone & Silveira (2001).

Costa et al. (2003), após 21 anos de cultivo em diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava, PR, não encontraram diferenças para densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração entre preparo convencional de solo e plantio direto. Porém, o rendimento de grãos de soja (18 safras) foi 42% superior sob plantio direto do que sob preparo convencional de solo, o que, possivelmente, reflete a melhoria na qualidade física do solo.

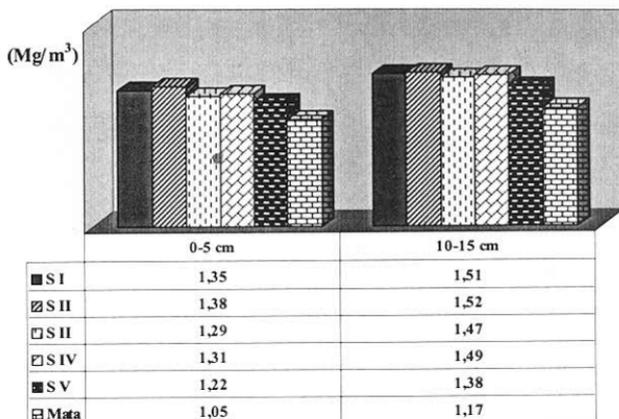
Deve ser levado em conta que poucos são os trabalhos sobre experimentos de longa duração em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. Além disso, a maioria dos trabalhos publicados são incompletos, ou seja, não consideram o efeito do ano agrícola, o que requer que todas as espécies contempladas nos sistemas de manejo de solo ou de rotação estejam obrigatoriamente presentes, tanto no inverno como no verão (Santos & Reis, 2001). A seguir são relatados alguns trabalhos envolvendo a cultura de soja em sistemas de rotação de culturas ou modelos de produção, bem como sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas.

## Efeito de modelos de produção nos atributos físicos do solo

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2003), sobre sistemas mistos (integração lavoura + pecuária), por seis anos, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, no município de Passo Fundo, RS, não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos diferentes modelos de produção estudados para densidade do solo.

Três dos quatro sistemas (I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja, II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) continham áreas que foram pastejadas durante o inverno, enquanto o sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja), consiste em somente lavoura para produção de grãos. Nesse estudo, a densidade do solo, diminuiu gradativamente da camada 0-5 cm (1,50-1,53 Mg/m<sup>3</sup>) para camada 20-30 cm (1,34-1,38 Mg/m<sup>3</sup>).

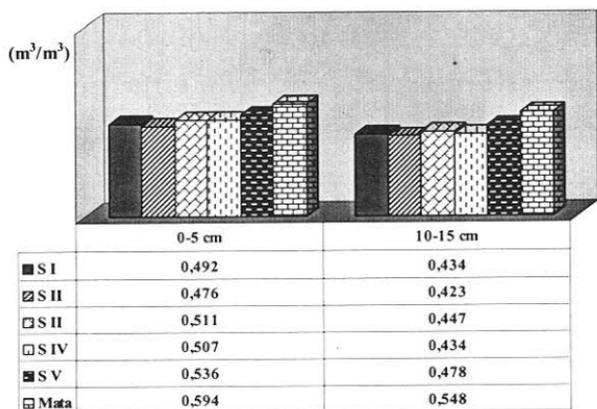
Na comparação entre sistemas de produção envolvendo pastagens perenes sob plantio direto nos atributos físicos de solo e no rendimento de grãos, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, no município de Passo Fundo, RS, Spera et al. (2004), verificaram que os modelos de produção (I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, II: trigo/soja, aveia branca e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de inverno e IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de verão) afetaram os atributos físicos do solo em relação à condição edáfica original representada por floresta subtropical (fig. 9, 10, 11 e 12). Porém, o sistema V (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após alfafa) apresentou menor densidade do solo em relação aos modelos de produção citados acima, possivelmente em decorrência do revolvimento do solo efetuado na camada superficial. A densidade do solo aumentou em profundidade nas camadas avaliadas em todos os modelos de produção agropecuária, ocorrendo, em conseqüência, o inverso para porosidade total e macroporosidade. Não foram verificadas correlações significativas entre rendimento de grãos das culturas e atributos físicos do solo, exceto para macroporosidade do solo na cultura de soja na camada 0-5 cm.



S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: sistema I após pastagens perenes de inverno, S IV: sistema I após pastagens perenes de verão e S V: sistema I após alfafa.

Fig. 9. Valores de densidade do solo, em sistemas de produção de grãos com pastagens perenes, avaliados em 2000.

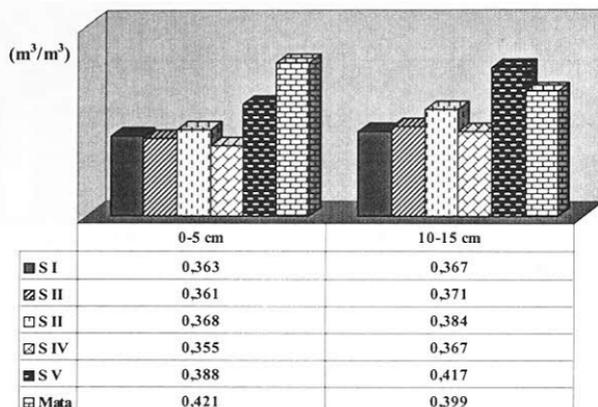
Fonte: Spera et al. (2004).



S I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: sistema I após pastagens perenes de inverno, S IV: sistema I após pastagens perenes de verão e S V: sistema I após alfafa.

Fig. 10. Valores de porosidade total, em sistemas de produção de grãos com pastagens perenes, avaliados em 2000.

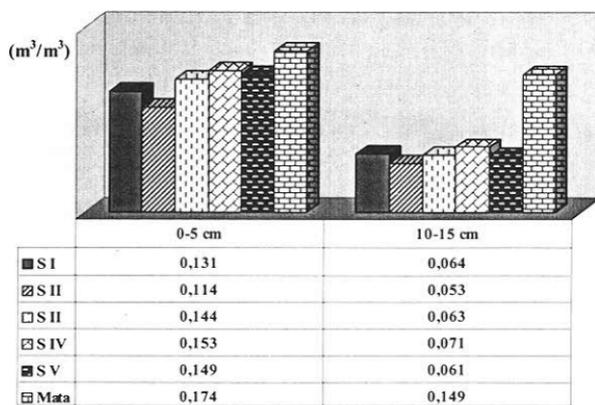
Fonte: Spera et al. (2004).



S I: trigo/soja, aveia branca/soja e er vilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: sistema I após pastagens perenes de inverno, S IV: sistema I após pastagens perenes de verão e S V: sistema I após alfafa.

Fig. 11. Valores de microporosidade, em sistemas de produção de grãos com pastagens perenes, avaliados em 2000.

Fonte: Spera et al. (2004).



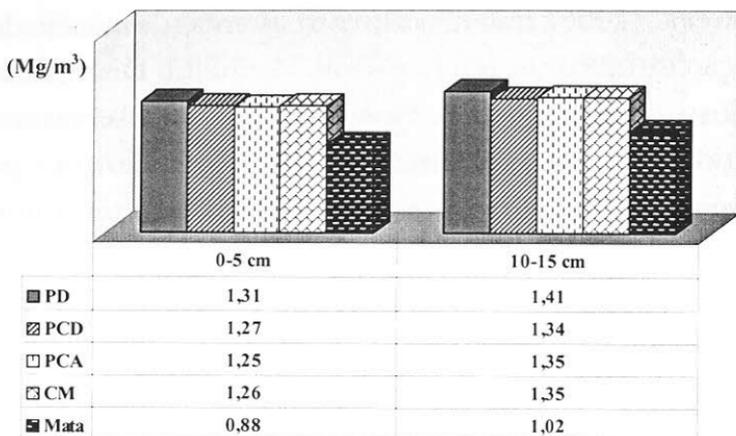
S I: trigo/soja, aveia branca/soja e er vilhaca/milho, S II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho, S III: sistema I após pastagens perenes de inverno, S IV: sistema I após pastagens perenes de verão e S V: sistema I após alfafa.

Fig. 12. Valores de macroporosidade, em sistemas de produção de grãos com pastagens perenes, avaliados em 2000.

Fonte: Spera et al. (2004).

Spera et al. (2006), trabalhando com sistemas de manejo de solo e rotação de culturas, em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, no município de Passo Fundo, RS, observaram que o plantio direto apresentou maior densidade de solo que o preparo convencional de solo com arado de aivecas, o cultivo mínimo e a floresta subtropical (Fig. 13). Por outro lado, a floresta subtropical mostrou maior porosidade total, em relação ao preparo convencional com arado de aivecas, ao cultivo mínimo e ao plantio direto (Fig. 14). Além disso, a floresta subtropical apresentou macroporosidade maior (Fig. 15) do que os sistemas de rotação de culturas, ocorrendo o inverso para densidade de solo e microporosidade (fig. 16 e 17). A densidade de solo foi maior na camada 0-5 cm do que na camada 10-15 cm, nos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, e vice-versa para a porosidade total e macroporosidade.

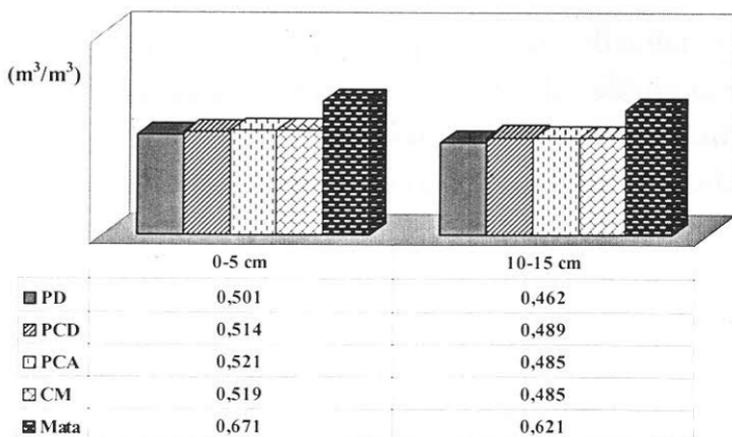
No trabalho desenvolvido por Secco et al. (2004), sobre sistemas de manejo de solo, em Latossolo Vermelho Distrófico, no município de Cruz Alta, RS, não foram observadas diferença significativa na camada 0-5 cm entre rendimento de grãos de seis cultivares de soja, mesmo em tratamentos composto por compressão mediante rolo compactador. A compactação do solo causou menores valores de densidade do solo, espaço poroso e resistência à penetração do solo na camada 0-10 cm. Houve relação direta entre densidade, volume de microporos e resistência à penetração do solo e relação inversa entre densidade e volume de macroporos, com aumento do estado de compactação. A escarificação do solo em área manejada por oito anos sob plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja.



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 13. Valores de densidade do solo, em sistemas de manejo de solo, avaliados em 2001.

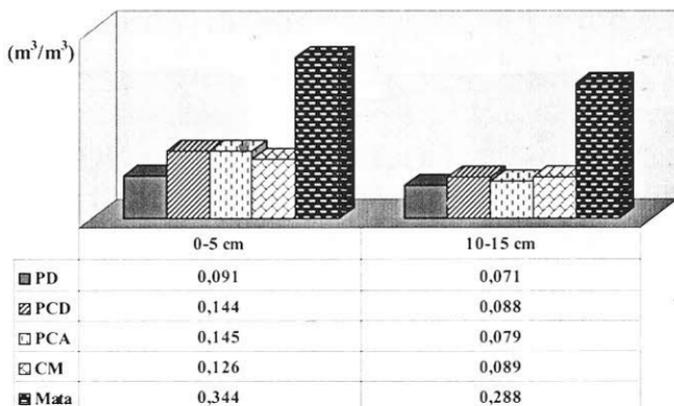
Fonte: Spera et al. (2005).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 14. Valores de porosidade total, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, avaliados em 2001.

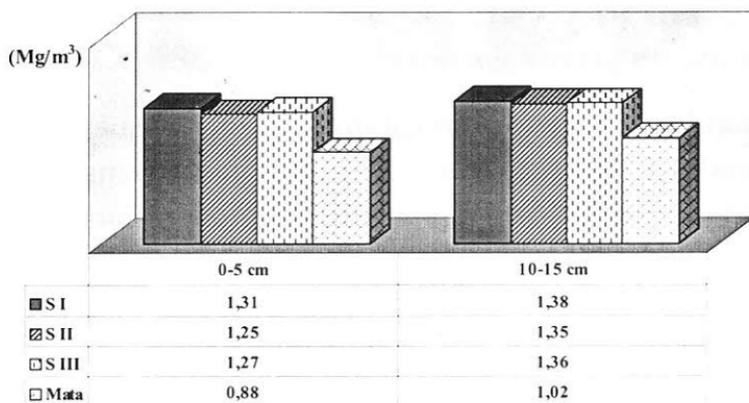
Fonte: Spera et al. (2005).



PD: plantio direto, PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas e CM: cultivo mínimo.

Fig. 15. Valores de macroporosidade, em sistemas de rotação de culturas, avaliados em 2001.

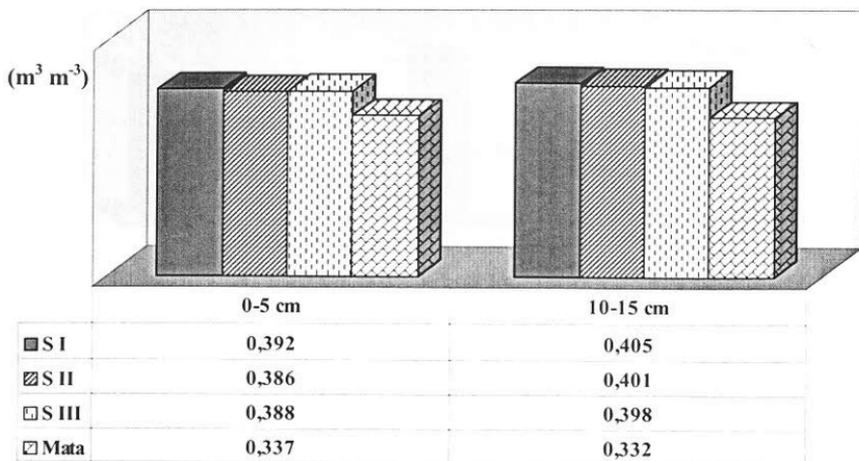
Fonte: Spera et al. (2005).



S I: trigo/soja, S II: trigo/soja e ervilhaca/milho e S III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 16. Valores de densidade do solo, em sistemas de rotação de culturas, avaliados em 2001.

Fonte: Spera et al. (2005).



S I: trigo/soja, S II: trigo/soja e ervilhaca/milho e S III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 17. Valores de microporosidade, em sistemas de rotação de culturas, avaliados em 2001.

Fonte: Spera et al. (2005).

Sumarizando o conteúdo deste capítulo, conclui-se que o plantio direto tende à apresentar maior densidade do solo em camadas mais profundas e menor macroporosidade total em comparação aos demais tipos de preparo convencional de solo, embora isto não ocorra em níveis prejudiciais ao rendimento de grãos. Os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas não proporcionaram distintos graus de compactação de solo. Os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, quando comparados à floresta subtropical nativa induziram certo grau de degradação estrutural do solo. Os sistemas de rotação de culturas não interferiram na densidade do solo e tampouco na resistência do solo à penetração.

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. Eschborn: GTZ; IAPAR, 1991. 272 p.
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito do manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob Cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão após oito anos de plantio direto. 1998. 180 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba
- LAL, R.; MAHBOUBI, A. A.; FAUSEY, N. R. Long-term tillage and rotation effects on properties of a Central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58, n. 2, p. 517-522, 1994.
- REEVES, D. W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo. Resumos... Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1995. p. 127-130.

REINERT, D. J. Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramínea em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. 1993. 62 p. Tese (Concurso Professor Titular) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, S. R.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos químicos e físicos de solo em sistemas de produção com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto. In: Embrapa Trigo. Soja: resultados de pesquisa 2001/2002 e 2002/2003. Passo Fundo, 2003. p. 214-234. (Embrapa Trigo. Documentos, 39).

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. In: SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Cap. 1, p. 11-132.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, M. R. N. Efeito de sistemas de rotação de culturas sobre a densidade e porosidade do solo em plantio direto, em Passo Fundo, RS. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. Resumos... Pelotas: SBCS, 2000. p. 300-308. 1 CD-ROM.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos e na produtividade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.;  
KOCHHANN, R. A. Efeito de práticas culturais em alguns  
atributos físicos de solo. Parte II: físicos. Revista Brasileira de  
Ciência do Solo, 2006 (no prelo).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e  
da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo.  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n. 2,  
p. 395-401, 2001.



## Doenças de Soja Cultivada em Sistema Plantio Direto

*Leila Maria Costamilan*

---

### Introdução

Doenças em plantas são componentes inerentes de qualquer agroecossistema, devendo ser tratadas de forma racional e contínua. Para que ocorram, é necessária a interação entre três componentes: ambiente favorável, principalmente em termos de temperatura e de umidade; patógeno em quantidade adequada, ativo e por período prolongado; e hospedeiro suscetível, representado por plantas ou partes de uma planta, normalmente em grande extensão (Kimati & Bergamin Filho, 1995).

Essas condições são atendidas em lavouras comerciais de grãos, tanto no sistema de preparo convencional de solo quanto no sistema plantio direto. Entretanto, observa-se certa diferenciação na ocorrência de doenças, dependendo do sistema de manejo adotado. Doenças predominantes em lavouras manejadas no plantio direto, geralmente, não são as mesmas que ocorrem quando se utiliza o revolvimento do solo. No sistema plantio direto, os problemas fitossanitários geralmente iniciam na segunda geração após a adoção do sistema, decorrentes de novo patamar de equilíbrio estabelecido em populações de pragas.

A presença de camada de restos culturais na superfície do solo é responsável por alterações no microclima de lavouras em plantio direto. O solo, abaixo dessa camada, apresenta menor temperatura e maior umidade que o solo do preparo convencional, o que influi na seleção de microorganismos adaptados e no desenvolvimento de doenças. A decomposição de restos culturais é mais lenta, aumentando o período de permanência de patógenos na lavoura. Para algumas doenças, a dispersão de inóculo também é favorecida, pois a distância entre patógeno e hospedeiro é menor. Determinados herbicidas podem ter efeito, também, no desenvolvimento de doenças.

Danos causados por alguns patógenos necrotróficos com maior habilidade saprofítica, com vários hospedeiros e/ou que desenvolvem estruturas de resistência são mais severos no sistema plantio direto. Neste caso, incluem-se a podridão vermelha da raiz (*Fusarium solani* f. sp. *glycines*), a mancha alva e a podridão radicular de *Corynespora* (*Corynespora cassiicola*), o tombamento de plântulas e a murcha de *Sclerotium* (*Sclerotium rolfsii*), o tombamento de plântulas e a morte em reboleira (*Rhizoctonia solani*), a podridão parda da haste (*Phialophora gregata*) e a podridão da raiz e da haste (*Phytophthora sojae*). Observa-se, também, maior desenvolvimento de doenças causadas por patógenos biotróficos, como ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) e oídio (*Erysiphe diffusa*), pois, em plantio direto, ocorre aumento no número de plantas que vegetam durante a entre-safra, provendo substrato adequado para permanência e desenvolvimento desses patógenos.

Por outro lado, o efeito do sistema plantio direto é mínimo sobre doenças que já são eficientemente controladas por meio de resistência genética do hospedeiro e cujo patógeno não apresenta estrutura de resistência, como o cancro da haste (*Diaporthe*

*phaseolorum f. sp. meridionalis*), a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) e a pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*).

Para outras doenças, como mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), mancha parda (*Septoria glycines*), mela (*Thanatephorus cucumeris*) e para nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp.) e de cisto (*Heterodera glycines*), é fundamental a adoção do plantio direto como uma das medidas auxiliares de controle, ao promover impedimentos à disseminação dos mesmos.

Para entender os efeitos do plantio direto sobre as relações patógeno-hospedeiro e, conseqüentemente, sobre o estabelecimento ou não de doenças, é importante conhecer a influência desse sistema sobre o microclima, sobre fatores químicos, físicos e biológicos do solo, sobre os patógenos e sobre hospedeiros e outras espécies vegetais vinculadas ao sistema de exploração.

## O microclima

As características dos eventos climáticos que ocorrem próximo à superfície do solo, como temperatura do ar e do solo e molhamento foliar, são afetadas pela presença de camada de restos culturais na superfície do solo. Devido ao efeito isolante desses resíduos, há redução de até 10°C na temperatura da superfície do solo, comparado com solo descoberto, com a presença de uma camada de 2 cm de restos culturais (James & Sutton, 1990). A diminuição da temperatura do solo na primavera e no início do verão, em sistema plantio direto, pode causar retardamento na germinação

e no desenvolvimento de plântulas, situação favorável às doenças radiculares induzidas por patógenos de solo favorecidos por baixa temperatura, como os tombamentos causados por *R. solani* e por *Pythium* sp. e a podridão vermelha da raiz da soja. Vários autores observaram que a incidência e a severidade de podridão vermelha da raiz foram maiores em sistema plantio direto, devido à elevada umidade do solo e a temperaturas baixas. Hershman et al. (1990) observaram que lavouras de soja semeadas tardiamente apresentaram redução dessa doença, provavelmente devido aos solos estarem mais quentes e menos úmidos. Segundo Scherm & Yang (1996), a expressão dos sintomas é maior quando ocorrem alta umidade no solo durante toda a safra e baixa temperatura (15°C) no solo durante o início da estação de crescimento, o que contribuiria para a infecção de raízes, e temperaturas amenas (22 a 24°C) no solo durante o estágio reprodutivo, influenciando na expressão de sintomas foliares. Ao proporcionar períodos mais longos de alta umidade no solo, o sistema plantio direto também favorece a esporulação do patógeno na superfície das raízes, concorrendo para o aumento da doença, uma vez que a densidade populacional de *F. solani* f. sp. *glycines* no solo, na semeadura, correlacionou-se positivamente com a severidade da doença (Rupe, 1999). Almeida et al. (2000) observaram associação entre maior número de plântulas de soja mortas por *S. rolfsii* e preparo convencional de solo, devido aos maiores índices de temperatura e umidade do solo, quando comparado com plantio direto. Da mesma forma, solos mais frios do plantio direto impedem a formação de cancos de calor, distúrbio fisiológico que causa o tombamento de plântulas de soja com estrangulamento do hipocótilo ao nível da superfície do solo, quando a temperatura do mesmo atinge 55°C no período da emergência (Neumaier et al., 2000).

O molhamento foliar é prolongado em uma a duas horas nas culturas em sistema plantio direto, principalmente nas primeiras fases de desenvolvimento das plantas. Essa diferença tende a desaparecer à medida que as plantas crescem e cobrem o solo. Esse efeito pode influir positivamente no desenvolvimento de algumas doenças foliares, como a mancha parda da soja, causada por *Septoria glycines*, no início do desenvolvimento da cultura de soja. Entretanto, no fim do ciclo, Tyler et al. (1983) observaram que essa doença causou menor desfolha precoce em soja cultivada em sistema plantio direto.

## O solo

O sistema plantio direto concentra resíduos vegetais nos primeiros 10 a 15 cm de solo, aumentando, nesse perfil, a quantidade e a diversidade da população de patógenos de solo associados a restos culturais, como *R. solani* e *Pythium* sp. A população total de fungos é maior de 0 a 10 cm de profundidade, declinando até 30 a 40 cm em sistema plantio direto. Em preparo convencional ocorre baixa população de 0 a 10 cm de profundidade, aumentando até 20 a 30 cm, resultando em populações relativamente uniformes na camada arável. A possibilidade de necrose de raízes, de nanismo e de plantas deformadas por fitotoxinas de compostos em decomposição também é aumentada em sistema plantio direto, principalmente em climas mais frios (Sumner et al., 1981; Salton et al., 1998). Por outro lado, o aumento do nível de matéria orgânica dos solos confere melhores condições de resistência a danos de doenças e favorece a atividade microbiana, induzindo o desenvolvimento de

populações de microorganismos benéficos e de ambiente supressivo a fitopatógenos de solo (Sumner et al., 1981).

Os maiores desafios em sistema plantio direto são as doenças radiculares, principalmente devido à compactação do solo, que intensifica a ação de estresse hídrico. Por não revolver o solo, o sistema plantio direto apresenta, geralmente, uma elevação da densidade do solo na camada superficial, de 0 a 10 cm, a qual, sob condições normais, não causa problemas e tende a desaparecer com o decorrer dos anos. Entretanto, se o sistema plantio direto for mal conduzido (ausência de rotação de culturas e/ou de cobertura adequada do solo, semeadura em condições de excesso de umidade), pode ocorrer compactação nas camadas de 8 a 15 cm (Salton et al., 1998).

A realização de práticas inadequadas de semeadura de soja em sistema plantio direto em solos com elevado teor de argila, em condições de excesso de umidade e de excesso de velocidade (causando selamento das paredes laterais do sulco de semeadura), com deposição de sementes na superfície e de fertilizantes no fundo do sulco são fatores que favorecem a incidência de podridões radiculares, principalmente no início do desenvolvimento da cultura (Gassen, 2002). Solos compactados também favorecem o desenvolvimento de todas as doenças radiculares, como podridão vermelha da raiz, podridão da raiz e da haste e podridão cinza da raiz, em soja.

Em um estudo de três anos, plantas de soja em parcelas manejadas sob sistema plantio direto apresentaram significativamente mais podridão vermelha da raiz da soja que em parcelas cujo preparo do solo foi realizado com disco ou com sulcador (Wrather et al., 1995), sugerindo que a restrição ao crescimento de raízes e o

aumento do nível de umidade no solo, devidos ao aumento da densidade do solo verificado nas parcelas em sistema plantio direto, tenham causado o aumento da doença (Rupe, 1999).

A ocorrência de podridão da raiz e da haste da soja, causada por *Phytophthora sojae*, em várias lavouras no Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná, contraria informações de que sua ocorrência estaria condicionada a solos de áreas sujeitas a alagamentos. Vários relatos asseguram que essa doença é mais severa em preparo reduzido e em sistema plantio direto (Schmitthener, 1985; Workneh et al., 1998b). A umidade é o principal fator que condiciona sua ocorrência, pois solos saturados são essenciais para a formação e a disseminação do inóculo. Como a taxa de percolação de água é mais baixa em sistema plantio direto, resultando em longos períodos de solo saturado, esta pode ser uma explicação para o aumento da doença em sistema plantio direto. O desenvolvimento da doença também está associado à monocultura de soja, ao solo compactado, que dificulta a drenagem, e à cobertura de palha, que mantém o solo úmido por períodos mais longos. Para Schmitthener (1985), soja cultivada em sistema de preparo convencional de solo rendeu 19% a mais que soja cultivada em sistema plantio direto, na presença da doença. Workneh et al. (1998a) concluíram que a frequência de recuperação de *P. sojae* foi duas a três vezes superior até 7,5 cm de profundidade em solos sob sistema plantio direto, o que sugere que o potencial de tombamento de plântulas de soja possa ser maior nesse sistema de cultivo. Houve correlação positiva entre peso seco de restos culturais em sistema plantio direto e porcentagem de recuperação do fungo, o que não foi verificado em preparo convencional, confirmando a importância dos restos culturais como fonte primária de inóculo.

## O patógeno

A manutenção de restos culturais na superfície do solo prolonga a viabilidade dos patógenos necrotróficos e sua permanência na área, pois retarda a decomposição dos resíduos pela maior dificuldade de ação de microorganismos decompositores, mantendo, por mais tempo, a fonte nutricional. Em Passo Fundo, foram necessários 27 meses para que restos de soja fossem totalmente decompostos. Durante esse período, fungos como *Fusarium* sp., *M. phaseolina* e *R. solani* foram sempre recuperados desses resíduos. Em algumas amostras, *Phomopsis* sp. começou a desaparecer após 24 meses. A habilidade de competição saprofítica e as estruturas de resistência de *Fusarium*, de *Macrophomina* e de *Rhizoctonia* permitem que esses fungos permaneçam viáveis por muito tempo em uma área. Para *Phomopsis*, como a sobrevivência está ligada à decomposição de restos culturais, pode-se considerar seus propágulos não viáveis após 27 meses da colheita de soja, nas condições climáticas de Passo Fundo (Costamilan et al., 1999). Nas regiões onde os agricultores exploram a segunda safra, ou safrinha, logo após a colheita de soja, algumas doenças, como antracnose, podridão de raízes por *Fusarium*, cancro da haste e mofo branco poderão tornar-se ainda mais severas em sistema plantio direto, pela grande presença de restos culturais contaminados na área.

A camada de restos culturais posicionados sobre a superfície do solo também permite a proximidade física da fonte de inóculo inicial com o hospedeiro e a formação de estruturas de reprodução, como, por exemplo, apotécios de *S. sclerotiorum* (mofo branco) e peritécios de *D. phaseolorum* f. sp. *meridionalis* (cancro da haste). A ação de agentes disseminadores, como chuva e vento, contribui para aumentar a área de incidência de doenças (Adee et al., 1997;

Zambolim et al., 2000).

Em alguns casos, a camada de restos culturais pode agir como barreira física, dificultando o completo desenvolvimento de estruturas de reprodução de patógenos. Ferraz et al. (1999) observaram que uma camada de 6 a 9 cm de altura de restos culturais de gramíneas impediu a completa formação de apotécios de *S. sclerotiorum*, embora, com 9 cm, tenham sido verificados prejuízos ao vigor e ao rendimento de grãos de feijoeiro. A cobertura do solo com restos culturais também é importante no controle de certas doenças, como a mela (*T. cucumeris*), o nematóide de cisto (*H. glycines*) e os nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp.). A mela, que não ocorre na Região Sul do Brasil, é muito freqüente em regiões de clima quente e úmido, como no Maranhão e na Bahia. A cobertura de solo propiciada pelo sistema plantio direto é fundamental para diminuir a ação de gotas de chuva, que carregam partículas de solo contendo o fungo até as folhas de soja, nas quais se inicia a doença. Em lavouras infestadas por nematóides de cisto ou de galhas, o sistema plantio direto é essencial para evitar a disseminação desses organismos através da movimentação de solo pelo vento, pela chuva e por implemento de preparo de solo.

Adee et al. (1994) relataram grande severidade de podridão parda da haste de soja em sistema plantio direto, devido à alta densidade de inóculo do patógeno nos restos culturais e à lenta decomposição desses resíduos quando posicionados na superfície do solo. Em trabalho posterior, Adee et al. (1997) observaram maior quantidade de propágulos do fungo em restos infectados de cultura de soja posicionados na superfície do solo, simulando o sistema plantio direto, que em resíduos enterrados. O fungo foi detectado nos resíduos da superfície durante 30 meses, enquanto nos resíduos

enterrados desapareceu após 11 a 17 meses. Além disso, no início da primavera, foi observado incremento de 11 vezes na densidade populacional do fungo nos restos culturais na superfície do solo, indicando que a densidade de inóculo pode aumentar saprofiticamente, o que explicaria o aumento acentuado na severidade da doença do primeiro para o segundo ano consecutivo de soja, especialmente em sistema plantio direto. Essa doença é facilmente controlável com o uso de cultivares resistentes; entretanto, voltou a ocorrer em lavouras cultivadas por mais de dois anos com cultivares argentinas resistentes ao glifosato.

A rotação de culturas é uma ferramenta útil no controle de doenças incitadas por patógenos necrotróficos com baixa habilidade saprofítica, ou seja, para aqueles que permanecem viáveis apenas nos restos culturais, como é o caso de *D. phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, *S. glycines*, *Cercospora kikuchii* e *C. sojina*. Os efeitos da rotação serão menores para patógenos necrotróficos com alta habilidade saprofítica e com ampla adaptação, como os habitantes normais do solo e/ou que produzem estruturas de resistência (*R. solani*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp. e *P. sojae*). Para o caso de patógenos biotróficos, como *E. diffusa* e *P. pachyrhizi*, a rotação não é indicada, devido à facilidade de disseminação e à presença constante de inóculo no ambiente. A rotação por longo período não terá eficiência quando não houver culturas alternativas de valor econômico, ou para o controle de patógenos que desenvolvem estruturas de resistência ou apresentam muitos hospedeiros alternativos, como é o caso de *Macrophomina phaseolina*, causador da podridão cinza da raiz.

Os resíduos culturais de soja também hospedam alguns patógenos de outras espécies. Baird et al. (1997) recuperaram *Fusarium graminearum*, patógeno de milho, trigo e aveia, a partir de restos

de soja, o que pode significar maior intensidade de doenças nessas culturas e menor rendimento de grãos em sistema plantio direto. Nas safras 1995/96 e 1997/98, notou-se elevada detecção de lotes de sementes de soja com problemas em testes de germinação de rotina devido a esse fungo, no Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná (Yuyama & Henning, 1999ab). Plântulas de soja crescidas em solo infestado por *F. graminearum* desenvolveram pequenas lesões necróticas na coroa e na parte superior das raízes, e vagens inoculadas com conídios secaram e caíram da planta. Alguns isolados brasileiros de *F. graminearum* obtidos de soja produziram uma nova micotoxina, o 3,acetil-nivalenol (Martinelli et al., 2004).

O uso de herbicidas, no sistema plantio direto, também pode afetar positiva ou negativamente a incidência e severidade de doenças de soja. Alguns têm efeito no controle de patógenos, como observado para *F. solani* f. sp. *glycines* e lactofen (Sanogo et al., 2000), para *S. sclerotiorum* e lactofen (Dann et al., 1999) e para *M. phaseolina* e trifluralina (Canaday et al., 1986), devido ao estímulo à produção de fitoalexinas (como gliceolina, em soja), que são compostos metabólicos associados com a defesa natural em plantas. Houve redução de nematóide de cisto de soja com acifluorfen, bentazon e lactofen diretamente sobre a soja; fluazifop-P, setoxydin e imazetapir não apresentaram efeito (Levene et al., 1998).

Por outro lado, alguns herbicidas aumentam a severidade de doenças e inibem o acúmulo de fitoalexinas, o que foi observado em *F. solani* f. sp. *glycines* e imazetapir ou glifosato (Sanogo et al., 2000), em *P. sojae* e trifluralina (Duncan & Paxton, 1981), em *P. sojae* e glifosato (Keen et al., 1982) e em *Pseudomonas* e glifosato (Holliday & Keen, 1982). Foi observado estímulo a *Pythium* sp. no

solo logo após aplicação de glifosato em soja, voltando a níveis normais após alguns dias (Descalzo et al., 1998). Também, aplicações irregulares de herbicidas (sobrepases, excesso de ingrediente ativo, etc.), associadas com efeitos do produto em rotas metabólicas e de crescimento de plantas hospedeiras e/ou de patógenos, são responsáveis, em parte, por aumento de doenças radiculares causadas por *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* e por nematóides (Altman & Rovira, 1989). Dessecações muito próximas da semeadura aumentam a população de fungos de solo, como *R. solani*, devido à maior quantidade de massa radicular em decomposição, o que pode tornar-se problema para a próxima cultura (Smiley et al., 1992).

## O hospedeiro

Em área sob sistema plantio direto, haverá estímulo a doenças na cultura de soja sem rotação de culturas. Costamilan & Lhamby (1994), analisando a influência de rotação de culturas sobre a incidência de plantas de soja com podridão parda da haste, observaram que, sem o cultivo de soja por uma safra, a incidência da doença foi reduzida de 33% a 50%, quando comparada com a incidência na monocultura de soja, que foi de 88%.

Além disso, o uso de espécies suscetíveis a doenças comuns à soja, em sistema de rotação de culturas, incentiva o desenvolvimento de problemas fitossanitários, como é o caso de nabo forrageiro, girassol e canola, que são altamente suscetíveis ao mofo branco. Quanto à podridão vermelha da raiz, Von Qualen et al. (1989)

observaram que as perdas pela doença foram menos severas em rotação milho-soja-trigo que em monocultura de soja. Rupe et al. (1997) verificaram que a rotação de soja com sorgo ou trigo diminuiu a densidade de inóculo no solo, comparando-se com soja suscetível contínua. Outros estudos, citados por Roy et al. (1997), não demonstraram controle dessa doença através de rotação de culturas.

No caso da ferrugem de soja, Yorinori et al. (2004) consideram que, em lavouras extensas e em regiões de clima favorável à doença (precipitação pluvial elevada ou formação abundante de orvalho), a rotação de soja com milho, arroz ou algodão faz parte das estratégias de controle, além da concentração de semeadura no início da época indicada, do uso de cultivares de ciclo precoce e da manutenção de espaçamento e densidade de plantas que favoreçam arejamento foliar, para otimizar a penetração e cobertura por fungicidas.

Estudos comparativos sobre o efeito das práticas de manejo do solo sobre a maior ou menor incidência de doenças em soja são incipientes, no Brasil. A recomendação de redução do potencial de inóculo através do enterrio de restos culturais através de aração profunda não é uma alternativa viável quando se adota o sistema plantio direto, sendo necessárias outras ações que viabilizem o controle de doenças nesse sistema de manejo. Para tanto, o conhecimento de características epidemiológicas de cada doença é importante na escolha do método mais eficiente do controle (Tabela 1). De acordo com o problema, podem ser adotadas diferentes medidas de controle. Semeadura em solo sem excesso de umidade, com sulcadores, na velocidade adequada, evitando contato direto de fertilizante com sementes, diminuem a incidência

de doenças radiculares. Semeadura em solos aquecidos e menos úmidos, e o uso de cultivares de soja de ciclo precoce, têm mostrado efeitos no controle de podridão vermelha da raiz (Roy et al., 1997; Yang & Munkvold, 2000). Escape, através da escolha do melhor período de semeadura e de cultivares com diferentes períodos de maturação, pode ser eficiente método de controle; no caso de ferrugem asiática, indica-se semeadura antecipada e cultivares de ciclo precoce (Yorinori et al., 2004). O uso de cultivares resistentes, quando disponíveis, deve ser sempre priorizado, pois é eficiente no controle de podridão de raiz e de haste, podridão parda da haste e cancro da haste. Para finalizar, o uso de fungicidas, em sementes ou em aplicações foliares, deve ser usado visando a não introdução de patógenos em áreas em primeiro ano de cultivo, impedindo a reintrodução após rotação, no controle específico de fungos de solo (como no caso de *P. sojae*) e no controle de doenças muito destrutivas, como ferrugem asiática.

## Referências Bibliográficas

ADEE, E. A.; GRAU, C. R.; OPLINGER, E. S. Inoculum density of *Phialophora gregata* related to severity of brown stem rot and yield of soybean in microplot studies. *Plant Disease*, v. 79, p. 68-73, 1994.

ADEE, E. A.; GRAU, C. R.; OPLINGER, E. S. Population dynamics of *Phialophora gregata* in soybean residue. *Plant Disease*, v. 81, p. 199-203, 1997.

ALMEIDA, A. M. R.; TORRES, E.; FARIAS, J. R. B. Outbreak of *Sclerotium rolfsii* in soybean is favored by weather and conventional tillage. *Fitopatologia Brasileira*, v. 25, n. 3, p. 672, 2000.

ALTMAN, J.; ROVIRA, A. D. Herbicide-pathogen interactions in soil-borne root diseases. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 11, p. 166-172, 1989.

BAIRD, R. E.; MULLINIX, B. G.; PEERY, A. B.; LANG, M. L. Diversity and longevity of the soybean debris mycobiota in a no-tillage system. *Plant Disease*, v. 81, p. 530-534, 1997.

CANADAY, C. H.; HELSEL, D. G.; WYLLIE, T. D. Effects of herbicide-induced stress on root colonization of soybeans by *Macrophomina phaseolina*. *Plant Disease*, v. 70, p. 863-866, 1986.

COSTAMILAN, L. M.; LHAMBY, J. C. B. Incidência de podridão parda da haste de soja em diferentes sistemas de rotação de culturas. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 111-112. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).

COSTAMILAN, L. M.; LHAMBY, J. C. B.; BONATO, E. R. Sobrevivência de fungos necrotróficos em restos de cultura de soja, em sistema de plantio direto. *Fitopatologia Brasileira*, v. 22, p. 175-177, 1999.

DANN, E. K.; DIERS, B. W.; HAMMERSCHMIDT, R. Suppression of white mold disease in soybeans by lactofen herbicide treatment. *Phytopathology*, v. 89, p. 598-602, 1999.

DESCALZO, R. C.; PUNJA, Z. K.; LEVESQUE, C. A.; RAHE, J. E. Glyphosate treatment of bean seedlings causes short-term increases in *Pythium* populations and damping off potential in soils. *Applied Soil Ecology*, v. 8, p. 25-33, 1998.

DUNCAN, D. R.; PAXTON, J. D. Trifluralin enhancement of *Phytophthora* root rot of soybean. *Plant Disease*, v. 65, n. 5, p. 435-436, 1981.

FERRAZ, L. C. L.; CAFÉ FILHO, A. C.; NASSER, L. C. B.; AZEVEDO, J. Effects of soil moisture, organic matter and grass mulching on the carpogenic germination of sclerotia and infection of bean by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Pathology*, v. 48, p. 77-82, 1999.

GASSEN, D. N. Um bom começo. *Cultivar, Pelotas*, n. 41, p. 12-13, 2002.

HERSHMAN, D. E.; HENDRIX, J. W.; STUCKEY, R. E.; BACHI, P. R.; HENSON, G. Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky. *Plant Disease*, v. 74, p. 761-766, 1990.

HOLLIDAY, M. J.; KEEN, N. T. The role of phytoalexins in the resistance of soybean leaves to bacteria: effects of glyphosate on glyceollin accumulation. *Phytopathology*, v. 72, p. 1470-1474, 1982.

JAMES, T. D. W.; SUTTON, J. C. Relationships of tillage practices and microclimate of winter wheat in Ontario. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. Proceedings... Passo Fundo: CIDA; EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 55-68.

KEEN, N. T.; HOLLIDAY, M. J.; YOSHIKAWA, M. Effects of glyphosate on glyceollin production and the expression of resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. *Phytopathology*, v. 72, n. 11, p. 1467-1470, 1982.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). *Manual de fitopatologia*. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, p. 692-709.

LEVENE, B. C.; OWEN, M. D. K.; TILKA, G. L. Response of soybean cyst nematodes and soybeans (*Glycine max*) to herbicides. *Weed Science*, v. 46, p. 264-270, 1998.

MARTINELLI, J. A.; BOCCHESI, C. A. C.; XIE, W.; O'DONNELL, K.; KISTLER, H. C. Soybean pod blight and root rot caused by lineages of the *Fusarium graminearum* and the production of mycotoxins. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29, n. 5, p. 492-498, 2004.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.). *Estresses em soja*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 50-52.

ROY, K. W.; RUPE, J. C.; HERSHMAN, D. E.; ABNEY, T. S. Sudden death syndrome of soybean. *Plant Disease*, v. 81, p. 1100-1111, 1997.

RUPE, J. Epidemiology of sudden death syndrome of soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. *Anais...* Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 139-148. (Embrapa Soja. Documentos, 124).

RUPE, J. C.; ROBBINS R. T.; GBUR, E. E. Effect of crop rotation on soil population densities of *Fusarium solani* and *Heterodera glycines* and on the development of sudden death syndrome of soybean. *Crop Protection*, v. 16, p. 575-580, 1997.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org.). Sistema plantio direto. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. 248 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SANOGO, S.; YANG, X. B.; SCHERM, H. Effects of herbicides on *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and development of sudden death syndrome in glyphosate-tolerant soybean. *Phytopathology*, v. 90, n. 1, p. 57-66, 2000.

SCHERM, H.; YANG, H. B. Development of sudden death syndrome of soybean in relation to soil temperature and soil water potential. *Phytopathology*, v. 86, p. 642-649, 1996.

SCHMITTHENNER, A. F. Problems and progress in control of *Phytophthora* root rot of soybean. *Plant Disease*, v. 69, p. 362-368, 1985.

SMILEY, R. W.; OGG JR., A. G.; COOK, R. J. Influence of glyphosate on *Rhizoctonia* root rot, growth, and yield of barley. *Plant Disease*, v. 76, p. 937-942, 1992.

SUMNER, D. R.; DOUPNIK JR., B.; BOOSALIS, M. G. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. *Annual Review of Phytopathology*, v. 19, p. 167-187, 1981.

TYLER, D. D.; OVERTON, J. R.; CHAMBERS, A. Y. Tillage effects on soil properties, diseases, cyst nematodes, and soybean yields. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 38, p. 374-376, 1983.

VON QUALEN, R. H.; ABNEY, T. S.; HUBER, D. M.; SCHREIBER, M. M. Effects of rotation, tillage, and fumigation on premature dying of soybeans. *Plant Disease*, v. 73, p. 740-744, 1989.

WORKNEH, F.; TYLKA, G. L.; YANG, X. B.; FAGHIHI, J.; FERRIS, J. M. Regional assessment of soybean brown stem rot, *Phytophthora sojae*, and *Heterodera glycines* using area-frame sampling: prevalence and effects of tillage. *Phytopathology*, v. 89, p. 204-211, 1998b.

WORKNEH, F.; YANG, X. B.; TYLKA, G. L. Effect of tillage practices on vertical distribution of *Phytophthora sojae*. *Plant Disease*, v. 82, p. 1258-1263, 1998a.

WRATHER, J. A.; KENDIG, S. R.; ANAND, S. C.; NIBLACK, T. L.; SMITH, G. S. Effect of tillage, cultivar, and planting date on percentage of soybean leaves with symptoms of sudden death syndrome. *Plant Disease*, v. 79, p. 560-562, 1995.

YANG, X. B.; MUNKVOLD, G. Alternatives to tillage for soybean disease management. In: IOWA STATE UNIVERSITY. Integrated crop management. Disponível em: <<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2000/10-23-2000/altill.html>>. Consultado em: 19 fev. 2001.

YORINORI, J. T.; NUNES JÚNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. Ferrugem “asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 247).

YUYAMA, M. M.; HENNING, A. A. Estudos da associação de *Fusarium graminearum* com a cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 1999a. p. 453. (Embrapa Soja. Documentos, 124).

YUYAMA, M. M.; HENNING, A. A. Ocorrência de *Fusarium* do grupo roseum em sementes de soja: levantamento e identificação da espécie. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 1999b. p. 454. (Embrapa Soja. Documentos, 124).

ZAMBOLIM, L.; CASA, R. T.; REIS, E. M. Sistema plantio direto e doenças em plantas. *Fitopatologia Brasileira*, v. 25, n. 4, p. 585-595, 2000.

Tabela 1. Características de doenças de soja que influem na incidência e na severidade.

Doença	Características										Controle viável					
	Viável em restos culturais	Sobrevive na matéria orgânica	Hospedeiros alternativos	Estruturas de resistência	Disseminação por semente	Resistência genética	Químico	Cultural	Viável em restos culturais	Sobrevive na matéria orgânica	Hospedeiros alternativos	Estruturas de resistência	Disseminação por semente	Resistência genética	Químico	Cultural
Antracnose ( <i>Colletotrichum truncatum</i> )	sim	não	não	não	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Cancro da haste ( <i>Diaporthe phaseolorum</i> f. sp. <i>meridionalis</i> )	sim	não	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
Crestamento bacteriano ( <i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>glycinea</i> )	sim	não	não	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	-	sim	sim
Doenças foliares de fim de ciclo (DFC) ( <i>Septoria glycines</i> e <i>Cercospora kikuchii</i> )	sim	não	não	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Ferrugem ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> )	não	não	sim	não	não	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Mancha olho-de-rã ( <i>Cercospora sojae</i> )	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Mela ( <i>Thanatephorus cucumeris</i> )	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
Míldio ( <i>Rhizoglyphus manshurica</i> )	não	não	não	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim
Nematóide de cisto ( <i>Heterodera glycines</i> )	não	não	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	não <sup>3</sup>	sim	sim	não	sim

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Doença	Características							Controle viável
	Viável em resos culturais	Sobrevive na matéria orgânica	Hospedeiros alternativos	Estruturas de resistência	Disseminação por semente	Resistência genética	Químico	
Nematóide de galha ( <i>Meloidogyne</i> spp.)	não	não	sim	não	não	sim *	não	sim
Oídio ( <i>Erysiphe diffusa</i> )	não	não	sim	não	não	sim	sim	não
Podridão cinza da raiz ( <i>Macrophomina phaseolina</i> )	sim	não	sim	sim	sim	não	não	sim
Podridão da raiz e da haste ( <i>Phytophthora sojae</i> )	sim	não	não	sim	não	sim	não	não
Podridão parca da haste ( <i>Phialophora gregata</i> )	sim	sim	sim	não	não	sim	não	sim
Podridão vermelha da raiz ( <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>glycines</i> )	sim	não	sim	não	não	não	não	não
Tombamento e morte em reboleira ( <i>Rhizoctonia solani</i> )	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não

\* não há controle viável com antibióticos;

<sup>2</sup> semeadura antecipada de cultivares de ciclo precoce;

<sup>3</sup> somente como impureza (torrão de solo).



## Manejo de Plantas Daninhas na Cultura de Soja sob Plantio Direto

*Leandro Vargas, Erivelton Scherer Roman & Osmar Rodrigues*

---

### Introdução

As plantas daninhas apresentam características que lhes conferem alta agressividade, mesmo em ambientes adversos ao desenvolvimento vegetal. As suas principais características são: rápida germinação e crescimento inicial, sistema radicular abundante, grande capacidade em absorverem nutrientes e água do solo, alta eficiência no uso da água e grande produção e disseminação de propágulos. Essas espécies afetam diretamente o rendimento de grãos e aumentam os custos de produção, resultando em diminuição da renda, cabendo aos produtores e agrônomos utilizar os métodos de controle e as práticas culturais de forma a aumentar as chances da cultura superar as plantas daninhas na competição por recursos.

O controle de plantas daninhas consiste em suprimir o crescimento e/ou reduzir o número destas por área, até níveis aceitáveis para convivência entre as espécies envolvidas, sem prejuízos para as culturas que se quer produzir. O controle deve receber atenção especial durante o período crítico de competição, que se inicia no

período a partir do plantio ou da emergência da cultura de soja em que as plantas daninhas devem ser controladas com eficiência para evitar perda quantitativa e/ou qualitativa da produção. Na prática, esse deve ser o período em que as capinas e/ou o residual dos herbicidas devem atuar.

O período crítico de competição para soja, de maneira geral, vai de 4 a 6 semanas após a emergência da cultura, variando com a cultivar, com o tipo de solo, com o tipo de análise usada e com outros fatores, como a ocorrência de chuva e a data de semeadura. Isso demonstra que cada situação poderá ter um período crítico de competição diferente em número de dias, mas deverá ser semelhante no estágio de desenvolvimento da cultura. O período crítico de competição da soja para Durigan et al. (1983) é de 30 a 50 dias após a emergência, variável com a cultivar; para Eaton et al. (1976) e para Harris & Ritter (1987) vai dos 14 aos 42 dias após a emergência da cultura; e para Spadotto et al. (1994) é de 21 a 31 dias após a emergência de soja. Entretanto, Van Acker et al. (1993) constataram que, em média, a cultura de soja deve estar livre de competição dos 9 aos 38 dias após a sua emergência, ou seja, quando ela encontra-se entre os estádios V2 e R3.

Na cultura de soja, o controle de plantas daninhas pode ser realizado usando-se um ou mais dos métodos de controle, que são: preventivo, cultural, mecânico, químico e biológico. O agricultor também pode usar o controle integrado, no qual mais de um desses métodos é adotado. O uso do controle integrado facilita o controle das plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura. As práticas culturais, como adubação, escolha da cultivar, época de semeadura, número de plantas por área e rotação de culturas devem ser empregadas visando beneficiar ao máximo a cultura, e em alguns

casos podem reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade do uso de outros métodos de controle.

## Controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas consiste na adoção de certas práticas que resultam na redução da infestação, mas não necessariamente na completa eliminação ou erradicação. A redução da interferência de plantas daninhas, considerando-se uma cultura, deve ser feita até o nível em que as perdas pela interferência sejam iguais ao custo do controle, ou seja, de modo que não interfiram na produção econômica da cultura (Silva et al. 1999). Os métodos de controle de plantas daninhas disponíveis ao produtor rural abrangem desde o arranquio manual das plantas até o uso de sistemas e equipamentos sofisticados para mapear e erradicar as plantas e as sementes no solo.

O controle eficiente de plantas daninhas muitas vezes necessita ser iniciado antes da instalação da cultura, ou até mesmo na safra anterior.

### *Manejo de plantas daninhas antes da semeadura*

O agricultor deve conhecer as plantas daninhas que infestam a área para embasar a escolha das práticas e/ou de herbicidas a serem

empregados. Existem algumas estratégias que podem ser adotadas para reduzir a infestação de plantas daninhas, em áreas sob plantio direto, antes da implantação da cultura; dentre elas destacam-se:

- escolha da área – deve-se dar preferência ao uso de áreas livres ou com baixa infestação de plantas daninhas, ou ainda, àquelas áreas com espécies de fácil controle; e
- uso de cobertura morta e semeadura em época favorável à germinação – proporcionarão o estabelecimento rápido da cultura e reduzida germinação de sementes de plantas daninhas.

A dessecação antes da semeadura é uma prática comum no sistema plantio direto para eliminar as plantas estabelecidas e proporcionar a formação da cobertura morta. Essa palhada exerce efeito físico sobre a população de plantas daninhas, atuando sobre a passagem de luz, temperatura e umidade do solo, e ainda pode liberar substâncias alelopáticas, criando condições adversas para a germinação e o estabelecimento das plantas daninhas.

A dessecação deve ser feita de tal forma que aproximadamente uma semana após a aplicação do(s) herbicida(s) seja possível realizar a semeadura de soja. A dessecação deve ser eficiente e deve controlar as plantas estabelecidas, evitando-se que essas permaneçam vegetando no local e interferindo no desenvolvimento da cultura. Deve-se ter muito cuidado na dessecação de áreas infestadas com espécies perenes, pois é comum encontrar lavouras de soja infestadas com essas espécies em que o agricultor realizou dessecação incorreta e não obteve controle eficiente. Com isso, a cultura de soja cresce em meio à competição com plantas adultas de plantas daninhas. Nesses casos é necessário aplicar herbicidas específicos para controlar essas espécies.

Algumas plantas daninhas perenes com propagação vegetativa como a grama-seda (*Cynodon dactylon*) e o capim-massambará (*Sorghum halepense*) devem ser controladas antes da instalação da cultura de soja com produtos específicos para essas espécies.

### *Manejo de plantas daninhas após a semeadura*

Depois da semeadura da cultura e antes da emergência de plantas daninhas, o agricultor dispõe da possibilidade do uso de herbicidas pré-emergentes. Após a emergência de plantas daninhas o uso de herbicidas pós-emergentes é uma alternativa eficiente para controle das plantas estabelecidas. O emprego de herbicidas pós-emergentes depende da espécie e do estágio de desenvolvimento das plantas daninhas e da cultura.

### *Monitoramento*

O monitoramento das espécies ocorrentes na área e suas proporções, além de auxiliar na escolha do método de controle a ser usado, indica o comportamento das espécies naquele ambiente. Essas informações são úteis na detecção da seleção de espécies e na identificação precoce de plantas daninhas resistentes a herbicidas. Nos casos em que há suspeitas de seleção de espécies, o agricultor deve usar outros métodos de controle. O monitoramento na maioria dos casos proporciona economia na quantidade de herbicida aplicado, principalmente nos casos em que se empregam produtos pré-emergentes.

## Métodos de controle de plantas daninhas

### *Controle preventivo*

No controle preventivo, o agricultor deve reduzir as possibilidades de introdução de propágulos de plantas daninhas, oriundos de outros locais, principalmente em áreas ainda não infestadas. O objetivo desse tipo de controle é evitar a infestação e/ou a reinfestação das áreas nas quais plantas daninhas seriam economicamente indesejáveis. Essa prática visa apenas à redução da infestação e não a eliminação de espécies que infestam a área.

A prevenção engloba todas as medidas adotadas para prevenir a introdução e disseminação de plantas daninhas. Para isso, é indispensável conhecer as características reprodutivas e de disseminação de espécies daninhas.

Para colocar em prática o controle preventivo, o agricultor deverá: usar sementes certificadas, evitar trânsito de animais de áreas infestadas para áreas livres de plantas daninhas, limpar os equipamentos após trabalho em áreas com plantas daninhas indesejáveis e controlar essas espécies em canais, margens de lavoura e caminhos (Silva et al., 1999).

### *Controle cultural*

O controle cultural consiste em usar qualquer condição ambiental

ou procedimento que promova o crescimento da cultura, tendendo a diminuir os danos de plantas daninhas. Esse método está baseado em dois princípios: as primeiras plantas que ocupam uma área tendem a excluir as demais e a espécie melhor adaptada predominará no ambiente (Fleck, 1992).

Tal controle usa principalmente as características da cultura para inibir o desenvolvimento das plantas daninhas. Assim, é necessário conhecer detalhadamente as características da espécie que está sendo cultivada e das plantas daninhas envolvidas. Também é necessário conhecer a resposta dessas espécies às práticas culturais a serem adotadas, pois aquelas espécies favorecidas por determinadas práticas tendem a se perpetuar. Contudo, se as práticas culturais favorecem o crescimento rápido e vigoroso da cultura e afetam negativamente as plantas daninhas, a tendência é de que as infestantes sejam eliminadas ou tenham seu desenvolvimento reduzido.

Dessa forma, deve-se selecionar a cultura a ser implantada na área, para que esta obtenha a máxima vantagem sobre as plantas daninhas. Os tratos culturais devem ser realizados de forma a proporcionar o máximo benefício à cultura, em relação às plantas daninhas. A escolha da cultivar adequada para as condições de solo e clima da região, a adubação correta e a adequação da densidade, da profundidade, do espaçamento entre linhas e da época de semeadura são fatores que podem proporcionar grande vantagem para a cultura. A adubação do solo, a profundidade e a época de semeadura devem ser favoráveis à rápida germinação das sementes, à emergência de plântulas e ao estabelecimento vigoroso e uniforme da cultura. O espaçamento entre linhas pode ser reduzido até o máximo possível, para aumentar a cobertura

do solo, diminuindo o espaço para plantas daninhas.

A rotação de culturas impede o aumento de uma determinada espécie de plantas daninhas, beneficiadas pela monocultura. Algumas espécies de plantas daninhas adaptam-se melhor a determinadas culturas; assim, se a mesma cultura for cultivada em anos seguidos, a tendência é que as espécies daninhas que melhor se adaptam àquelas condições se tornem predominantes. A rotação, além de criar diferentes dinâmicas competitivas na área, oportuniza o uso de diferentes tipos de herbicidas, colaborando para o controle de plantas daninhas na cultura de soja e nas culturas subsequentes. A escolha das culturas a serem usadas deve levar em consideração as plantas daninhas existentes na área, além das características físicas, químicas e topográficas da gleba.

### *Controle mecânico*

O controle mecânico de plantas daninhas através do arranquio manual é a forma mais antiga usada pelo homem para eliminar essas espécies. O controle mecânico consiste no uso de equipamentos que eliminam as plantas daninhas através do efeito físico, como a enxada e os cultivadores. O uso de cultivadores para controle de plantas daninhas pode ser econômico para o agricultor. Mesmo após a introdução no mercado dos herbicidas, o uso desses equipamentos ainda é comum, principalmente em pequenas propriedades, nas quais o emprego de outros métodos de controle é limitado devido à falta de equipamentos e à topografia do terreno. Em grandes propriedades o uso do controle

mecânico de plantas daninhas é reduzido, em razão da necessidade de maior agilidade.

Sob sistema plantio direto, a cobertura morta exerce controle das plantas daninhas por efeitos físicos e químicos. A palhada atua sobre a passagem de luz, temperatura e umidade do solo e ainda pode liberar substâncias alelopáticas, criando condições adversas para a germinação e estabelecimento de plantas daninhas.

### *Controle químico*

Os herbicidas são a principal e mais eficiente ferramenta usada para controle de plantas daninhas na cultura de soja. O uso desses produtos em pré ou pós-emergência combinados com as práticas discutidas anteriormente são suficientes para garantir vantagem competitiva para a cultura de soja nos estádios iniciais e até mesmo durante todo o ciclo.

O controle químico é importante principalmente em locais onde ocorre elevada infestação de plantas daninhas, baixa disponibilidade de água e nutrientes e o tempo disponível para controle é reduzido, devido ao tamanho da área ou à falta de equipamentos com elevado desempenho. Em grandes plantações de soja o controle químico é o método mais empregado, devido à agilidade e à eficiência.

Atualmente o controle seletivo de plantas daninhas na cultura de soja pode ser feito em pré ou em pós-emergência. A oferta de herbicidas disponíveis para controle de plantas daninhas folhas largas e estreitas na cultura de soja é relativamente elevada.

## Escolha do herbicida a ser aplicado

O grande número de ingredientes ativos registrados para a cultura de soja induz dúvidas no momento de se escolher qual o produto adequado para determinada situação. As dúvidas maiores surgem ainda ao se defrontar com as possíveis associações desses compostos. A soja é a cultura que possui o maior número de ingredientes ativos registrados na classe dos herbicidas (Rodrigues & Almeida, 1998).

A escolha do herbicida a ser usado depende basicamente do custo do tratamento, da eficiência sobre as plantas daninhas que estão ocorrendo na área, do tipo de solo, do sistema de cultivo e da tolerância da cultura. Para facilitar a escolha do produto, o agricultor primeiramente deve conhecer quais as espécies que infestam a área, onde se localizam e em que proporções. Isso permite escolher dentre os produtos a serem aplicados em pré-emergência ou em pós-emergência aquele mais indicado.

Em uma segunda etapa deve-se eliminar produtos com restrições a culturas sucedentes que poderão ser implantadas. Em terceiro lugar, selecionar os produtos e doses adequadas para uso de acordo com as características do solo (textura, nível de matéria orgânica e CTC) da propriedade. Alguns herbicidas exigem o emprego de doses extremamente elevados em solos com elevado nível de matéria orgânica, aumentando demasiadamente o custo do tratamento. Em quarto lugar, escolher herbicida com possibilidade de aplicação por mais de um método e produtos com ação sobre plantas estabelecidas (pós-emergente) com efeito residual. Assim, o produto controlaria as espécies já instaladas na área e aquelas originadas de novos fluxos germinativos.

Por fim, deve-se escolher o herbicida ou associações de herbicidas que proporcionem controle satisfatório das espécies daninhas presentes na área com menor custo. Muitas vezes o agricultor, por pensar que o controle de plantas daninhas deve ser total, acaba pagando mais caro por herbicidas altamente eficientes. Porém, é importante lembrar que o controle de plantas daninhas não é necessário que seja total, ou seja, o uso de herbicidas com menor eficiência pode ser vantajoso em termos de custo, desde que esse produto mantenha a seqüência de plantas daninhas abaixo do nível de dano econômico.

## Época de aplicação dos herbicidas

No sistema plantio direto os herbicidas podem ser aplicados em pré ou pós-emergência das plantas daninhas.

### *Aplicações pré-emergentes*

Para adotar o controle em pré-emergência das plantas daninhas é necessário o conhecimento prévio das espécies presentes na área. Nesses casos o uso de mapas que indicam as espécies presentes em cada local é de grande importância na escolha do herbicida a ser usado, já que dificilmente toda a lavoura estará infestada ou apresentará as mesmas espécies.

O uso de herbicidas em pré-emergência oferece a vantagem do

controle das plantas daninhas antes que essas possam competir com a cultura e provocar redução de rendimento. Na aplicação desses produtos o agricultor deve estar atento à necessidade de incorporação e à que profundidade esta deve ser feita, para aumentar a eficiência do produto e minimizar os riscos de toxicidade à cultura. A incorporação, entretanto, é inviável se forem respeitados os princípios do sistema plantio direto.

O desempenho dos herbicidas pré-emergentes depende de muitos fatores, como: umidade no momento da aplicação; chuvas após a aplicação, para sua ativação e para que este atinja o solo, não ficando retido na palhada; temperatura; tipo de solo e espécies daninhas a serem controladas. Por isso, algumas vezes esse tipo de herbicida pode proporcionar controle insatisfatório, no sistema plantio direto.

As aplicações de herbicidas pré-emergentes são aquelas feitas antes da emergência das plantas daninhas e podem ser juntamente ou logo após a semeadura.

Indica-se como vantagens dos herbicidas pré-emergentes: podem ser aplicados na operação de semeadura, com equipamentos acoplados à semeadora; não necessitam incorporação, com isso há economia de tempo, maquinaria e combustível e; expõem menos o solo à erosão, reduzindo o impacto ao ambiente.

### *Aplicações pós-emergentes*

A aplicação em pós-emergência deve ser realizada após a emergência das plantas daninhas e antes que essas interfiram no

desenvolvimento da cultura. A possibilidade de ocorrer prejuízo devido à competição é maior nesse tipo de tratamento herbicida do que nos anteriores. A atenção para o estágio de desenvolvimento das plantas daninhas e da cultura é fundamental para o sucesso da aplicação, pois alguns herbicidas são muito exigentes quanto à esse fator.

As condições de clima devem ser favoráveis à absorção e translocação do herbicida. Em geral, para aplicação de herbicidas pós-emergentes, a temperatura mínima é de 10°C; a ideal de 20 - 30°C; e a máxima, de 35°C. A umidade relativa mínima é de 60%; a ideal de 70-90%; e a máxima, de 95%. Esses herbicidas não devem ser aplicados na presença de ventos com velocidade superior a 10 km/h, sobre plantas estressadas e em caso de chuva iminente, sob pena de perda da eficiência do tratamento ou causar danos à cultura.

A aplicação em condições de vento forte poderá provocar deriva e as gotículas não atingirão o alvo, podendo alcançar locais com culturas sensíveis. A baixa umidade relativa provoca a desidratação da cutícula e o conseqüente secamento rápido da gota sobre a superfície da folha, provocando a cristalização do produto sobre a mesma, dificultando assim, a absorção da molécula. Alta temperatura pode provocar a volatilização das moléculas e aumentar a evaporação das gotas. Por outro lado, temperatura baixa pode reduzir o metabolismo das plantas e dificultar a absorção.

A aplicação sobre plantas estressadas reduz a absorção e translocação do produto e pode reduzir o metabolismo das moléculas herbicidas pela cultura, reduzindo a seletividade do herbicida. A ocorrência de chuva logo após a aplicação pode lavar as moléculas do herbicida da superfície da folha da planta e impedir

a sua absorção. Alguns herbicidas necessitam de até seis horas sem chuva, após a aplicação, para serem absorvidos em quantidade suficiente para controlar a planta.

As vantagens dos herbicidas pós-emergentes são: permitem aplicação localizada; não são afetados pelas características de solo; podem ser usados no sistema convencional e plantio direto; a escolha do produto pode ser feita de acordo com as plantas daninhas existentes na área naquele momento e auxílio na prevenção da erosão.

Os herbicidas pós-emergentes podem ser aplicados em pós-emergência precoce, normal ou tardia.

#### *Aplicação em pós-emergência precoce*

A eficiência dos herbicidas pós-emergentes é maior quando eles são aplicados sobre plantas daninhas em estádios iniciais de desenvolvimento, ou seja, quando as espécies de folhas largas, estiverem no máximo, com duas folhas e as gramíneas ainda não perfilhadas.

#### *Aplicação em pós-emergência normal*

A eficiência dos herbicidas aplicados em pós-emergência normal ainda é elevada. Nessa fase as espécies de folhas largas encontram-se no estágio 4-6 folhas e as gramíneas estão com até 3-4 afilhos.

### *Aplicação em pós-emergência tardia*

A eficiência dos herbicidas em pós-emergência tardia pode ser menor do que quando aplicados em pós-emergência precoce ou normal. Nesse tipo de aplicação os herbicidas são aspergidos sobre plantas daninhas que já se encontram em estádios avançados de desenvolvimento, ou seja, quando as espécies de folhas largas estão em estágio acima de seis folhas e as gramíneas com mais de três afilhos. Em tais situações, normalmente, a cultura já sofreu danos inerentes à competição e apresentará rendimento reduzido.

### *Aplicação dirigida*

A aplicação dos herbicidas pré e pós-emergentes pode ser efetuado de forma dirigida, ou seja, somente em uma parte da área, como por exemplo, em manchas onde ocorre determinada espécie de planta daninha ou nas entre linhas da cultura. Entre as vantagens das aplicações dirigidas está a redução do gasto com herbicida, pois a quantidade de produto aplicada será consideravelmente reduzida quando comparada com a aplicação em área total. Por outro lado, entre as desvantagens verifica-se o não controle de plantas daninhas na linha da cultura e os cuidados a serem tomados no caso de se utilizar herbicidas não seletivos.

O sucesso das aplicações dirigidas em pós-emergência baseia-se nas diferenças entre as plantas daninhas e a cultura. Nos casos em que a altura das plantas da cultura é maior que a das plantas daninhas pode-se aplicar o herbicida de forma direcionada à base

das plantas da cultura, evitando-se o contato do herbicida com as folhas desta.

A aplicação dirigida pode ser usada para corrigir falhas, nos casos em que os herbicidas aplicados em pré ou pós-emergência não apresentaram controle satisfatório das espécies presentes na área ou por tempo adequado. O uso de herbicidas totais de forma dirigida pode ser a única alternativa eficiente para controlar plantas daninhas em estádios avançados de desenvolvimento.

A aplicação dirigida é uma ferramenta que deve ser usada para evitar a multiplicação e disseminação de determinadas espécies ainda não detectadas na área e para controlar plantas resistentes à herbicidas.

## Manejo integrado de plantas daninhas

O programa de manejo integrado utiliza a combinação de todos os métodos de controle de plantas daninhas (preventivo, cultural, químico e mecânico) para obter controle eficiente dessas espécies. Não há um método que seja eficiente em todas as situações ou ambientes onde as culturas e as plantas daninhas estão se desenvolvendo, ou seja, cada situação precisa ser analisada individualmente e de acordo com as suas características, devem ser definidas quais práticas que devem ser adotadas. Os agricultores devem ser estimulados a usar todos os métodos de controle de plantas daninhas disponíveis, objetivando reduzir custos e proteger o ambiente, sem com isso haver perdas de produção. Para que isso

seja possível, deve-se conhecer os métodos adequados e as características ambiental da propriedade e fisiológica das culturas. O sucesso no controle das plantas daninhas é obtido quando é feito antes que tais plantas provoquem qualquer tipo de perda no rendimento das culturas.

## Cuidados com os equipamentos no momento da aplicação

O sucesso no controle das plantas daninhas depende além da escolha do herbicida adequado para as espécies que estão ocorrendo na área a correta aplicação. Para isso, antes de se iniciar a aplicação do herbicida, é necessário revisar cuidadosamente o equipamento a ser usado. Os bicos devem ser examinados individualmente, a fim de avaliar o desgaste e o alinhamento. A quantidade de ingrediente ativo a aplicar deve ser correta para evitar falhas de controle ou danos à cultura. Assim, o volume de calda a ser aplicado, o tamanho das gotas, a pressão de funcionamento dos bicos, a dosagem, a diluição, a agitação e a necessidade da adição de adjuvantes devem ser cuidadosamente verificados.

Os herbicidas são aspergidos sobre o solo ou sobre as plantas, para garantir que o ingrediente ativo atinja toda a superfície alvo, portanto, é necessário que o equipamento esteja distribuindo uniformemente a quantidade correta do herbicida na área.

O controle químico de plantas daninhas na cultura de soja é adotado principalmente por médios e grandes produtores e a

aplicação realizada com uso de pulverizadores de barra, através do sistema de irrigação (herbigação) ou de aplicações via aéreas. Esses três métodos são eficientes, porém existem situações em que cada um deles se adapta melhor. O produtor deve consultar um engenheiro agrônomo para regular o equipamento e definir, por exemplo, o tipo de bico a ser usado, com objetivo de distribuir uniformemente a dose correta do produto na área, evitando desperdício e perdas no rendimento devido à toxicidade causada à cultura. A ocorrência de erro na dose aplicada normalmente apresenta reduzida possibilidade de correção e são os principais responsáveis pela maioria das aplicações fracassadas.

## Manejo de áreas com soja resistente ao glifosato

A liberação do cultivo de soja transgênica resistente ao glifosato representa mudança no sistema de manejo de plantas daninhas nessa cultura. O glifosato é um produto altamente eficiente e relativamente de baixo custo. Além disso, a soja tolerante ao glifosato possibilita a utilização de um mecanismo de ação distinto daqueles que vinham sendo utilizados normalmente e com problemas de seleção de espécies resistentes. A soja transgênica é uma nova ferramenta para o controle da resistência de plantas a herbicidas.

O glifosato controla com eficiência a maioria das espécies daninhas que infestam a cultura de soja. Entretanto, vale ressaltar que existem na natureza diversas espécies naturalmente tolerantes ao glifosato, sendo necessário associar o tratamento deste herbicida

com outros produtos para alcançar controle dessas plantas. A trapoeraba (*Commelina benghalensis*), a corda-de-viola (*Ipomoea* spp), a poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), a erva-de-touro (*Tridax procumbens*), e a erva-quente (*Borreria latifolia*) são espécies tolerantes ao glifosato que podem ser selecionadas pelo uso repetido desse herbicida. A seleção dessas espécies daninhas pode ocorrer em poucos anos, se o glifosato não for usado racionalmente, e tornar-se um problema capaz de restringir o uso desse herbicida. Portanto, o uso racional desta nova técnica é importante com objetivo de prolongar o tempo de uso da mesma.

## Dessecação de soja em pré-colheita

A dessecação é uma técnica que pode ser usada para antecipar a colheita de soja. Essa técnica proporciona vantagens, tais como: antecipa, uniformiza e facilita a operação de colheita; reduz perdas e impurezas, proporcionando grãos mais limpos e de maior qualidade.

A dessecação é indicada quando a lavoura se encontra com plantas daninhas ainda verdes no momento da colheita ou quando a cultura apresenta maturação desuniforme. É uma técnica que envolve a aplicação de um produto químico para secar uma cultura artificialmente, o qual uma vez aplicado, promove a rápida e completa secagem de todas as partes verdes da planta. Os ingredientes ativos disponíveis para esta prática são o paraquat (nome comercial Gramoxone) e diquat (nome comercial Reglone). O diquat é especialmente indicado na dessecação da cultura de

soja e das plantas daninhas de folhas largas. O paraquat possui a mesma ação do anterior, sendo, porém, mais eficaz para controlar plantas daninhas de folhas estreitas (gramíneas).

A época de aplicação é a seguinte: 1) Na antecipação da colheita, sob condições normais, os grãos devem estar fisiologicamente maduros, ou seja, de dez a quinze dias antes da secagem natural da planta na lavoura. A coloração marrom-escuro do hilo da semente também indica maturação fisiológica. 2) Na redução das perdas de colheita, muitas vezes a cultura não se desenvolve uniformemente, devido a condições climáticas desfavoráveis. Em tais condições, a dessecação produz rápida secagem de todas as partes verdes de soja e de plantas daninhas, permitindo melhor funcionamento e eficiência da colhedora e redução de perdas.

## Referências Bibliográficas

DURIGAN, J. C.; VICTORIA FILHO, R.; MATUO, T.; PITELLI, R. Períodos de matocompetição na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivares Santa Rosa e IAC-2 . I – efeitos sobre os parâmetros de produção. *Planta Daninha*, n. 2, p. 86-100, 1983.

EATON, B. J.; RUSS, O. G.; FELTNER, K. C. Competition of velvetleaf, prickly sida and Venice mallow in soybeans. *Weed Science*, Champaign, v. 24, p. 224-228, 1976.

FLECK, N. G. Princípios do controle de plantas daninhas. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 70 p.

HARRIS, T. C.; RITTER, R. L. Giant green foxtail (*Setaria viridis* var. *major*) and fall panicum (*Panicum dichotomiflorum*) competition in soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*, Champaign, v. 235, p. 663-668, 1987.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. Guia de herbicidas. 4. ed. Londrina, 1998. 648 p.

SILVA, A. A. da; SILVA, J. F.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, J. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; VARGAS, L. Controle de plantas daninhas. Brasília, DF: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior; Viçosa, MG: UFV, 1999. 260 p.

SPADOTTO, C. A.; MARCONDES, D. A. S.; LUIZ, A. J. B.; SILVA, A. A. R. da. Determinação do período crítico para prevenção da interferência de plantas daninhas na cultura de soja: uso do modelo "Broken-stick". *Planta Daninha*, n. 2, v. 12, p. 59-62, 1994.

VAN ACKER, R. C.; SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. The critical period of weed control in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Weed Science*, v. 41, p. 194-200, 1993.



## Conversão e Balanço Energético de Modelos de Produção para Soja, sob Plantio Direto

*Henrique Pereira dos Santos, João Carlos Ignaczak & Renato Serena Fontaneli*

---

### Introdução

Numa propriedade agrícola gasta-se energia desde o estabelecimento até a secagem das espécies em cultivo. Dependendo das tecnologias usadas, poderá estar se colocando mais energia do que a retirada via rendimento de grãos ou pastejo por animais. Se a energia produzida for menor do que a energia consumida, o balanço energético será negativo (Quesada & Beber, 1990).

A produção de cereais e de oleaginosas para consumo humano, em vários locais, como Alemanha, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América, França e Inglaterra depende de elevado consumo de energia (Pimentel, 1980; White, 1975). Segundo Wilson & Brigstocke (1980), a produção dessas espécies vegetais na região de clima tropical pode ocorrer com menor consumo de energia, em decorrência da elevada luminosidade.

Nem toda tecnologia usada na propriedade agrícola mostra-se eficiente energeticamente. No trabalho desenvolvido por Quesada

et al. (1987), foi constatado espécies que tiveram balanço energético negativo. Isso também foi verificado no trabalho de Zentner et al. (1984) sobre sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo, no qual havia somente uma cultura por ciclo.

No Brasil, existem poucos estudos científicos relacionando a conversão e o balanço energético entre espécies. Além disso, muitos desses trabalhos relataram essa relação estudando as culturas isoladamente (Quesada et al., 1987; Quesada & Beber, 1990; Monegat, 1998). Há também poucos trabalhos relativos à conversão e ao balanço energético em modelos de produção de grãos usando rotação de culturas (Santos et al., 2000; 2001).

Em relação ao consumo de energia por sistemas de manejo de solo, existem relativamente poucos trabalhos (Rego, 1993; Hernánz et al., 1995; Borin, et al., 1997; Monegat, 1998). Sobre sistemas de manejo de solo e rotação de culturas envolvendo a cultura de trigo, até o presente momento destaca-se somente um trabalho (Santos et al., 1999). A seguir são relatados alguns trabalhos sobre sistemas de rotação de culturas, envolvendo a cultura de soja, quanto aos aspectos de produtividade cultural, conversão e balanço energético.

## Conversão e balanço energético em sistemas de rotação de culturas para soja

Scott & Krummel (1980), foram dos primeiros a desenvolver estudos, para determinar a conversão energética na cultura de

soja, nos Estados Unidos. Esse trabalho foi realizado em diferentes regiões, no qual o índice de conversão de energia para a cultura de soja oscilou de 1,84 a 4,45.

No estudo de avaliação do balanço energético de espécies, desenvolvido por Mello (1986), são estimados índices de produtividade cultural [resultado da divisão do rendimento de grãos (t/ha) de cada espécie pela energia consumida; a energia consumida é a energia gasta na obtenção de um bem ou serviço] de milho (1,25 Mcal/ha) e de soja (0,78 Mcal/ha), sob sistema convencional de preparo de solo. O mesmo autor, relata que a cultura de milho, quando se usa tração animal, trabalho humano e adubação orgânica, consome menos energia para obter uma unidade de produto para cada Mcal investida na cultura do que o sistema mecanizado e com insumos químicos. Neste caso, as variações nos produtos obtidos por Mcal investida na cultura, são proporcionais aos níveis de utilização de mecanização e de insumos químicos.

Santos & Reis (1994; 1995) estudando sistemas de rotação de culturas para cevada e para trigo, sob plantio direto, determinaram índices de produtividade cultural de aveia branca (1,34 a 1,38 Mcal/ha), de cevada (1,28 a 1,45 Mcal/ha), de ervilhaca (0,15 Mcal/ha), de linho (0,69 a 0,72 Mcal/ha), de milho (3,37 a 3,74 Mcal/ha), de soja (1,70 a 1,90 Mcal/ha), de trigo (1,20 a 1,24 Mcal/ha) e de tremoço (0,07 Mcal/ha).

As culturas de cobertura de solo e de adubação verde no inverno são as espécies que apresentaram menor índice de eficiência energética. Entre as culturas que produzem grãos, linho é a espécie que mostra menor eficiência energética e cevada, aveia branca e trigo são as que mostraram maior eficiência energética. Como o linho, produziu rendimento de grãos relativamente baixo, isto,

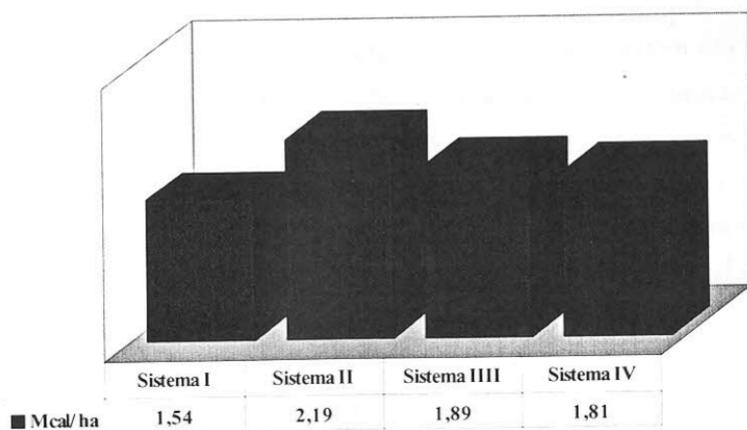
por sua vez, repercutiu diretamente na eficiência energética, que pode não ter respondido à energia ofertada. A cultura de milho apresenta maior índice de eficiência energética do que a de soja. Porém, a cultura de soja situou-se numa posição superior entre as culturas de inverno para este índice.

Santos & Reis (1994; 1995) determinaram também índices de produtividade cultural de sistemas de rotação para cevada: monocultura (1,28 Mcal/ha), um inverno (1,44 Mcal/ha), dois invernos (1,36 Mcal/ha) e três invernos sem cevada (1,38 Mcal/ha); e para trigo: monocultura: (1,20 Mcal/ha), um inverno (1,21 Mcal/ha), dois invernos (1,24 Mcal/ha) e três invernos sem trigo (1,22 Mcal/ha). Assim, cada unidade de caloria investida em cevada e em trigo em rotação rende mais do que em monocultura. Nesse caso, tanto as espécies de inverno como as de verão são analisadas separadamente, dentro de cada sistema de rotação de culturas.

Nos trabalhos desenvolvidos por Santos et al. (1996ab), foram avaliados quatro sistemas de rotação de culturas que incluíam cevada (I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; e IV: cevada/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja) e quatro sistemas de rotação incluindo trigo (I: trigo/soja; II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e IV: trigo/soja, leguminosas/milho, cevada/soja e aveia branca/soja) na forma de sistemas como um todo. A análise dos índices de produtividade cultural foi separada em dois períodos: 1984 a 1989 e 1990 a 1993. A análise conjunta foi aplicada a essas duas seqüências, devido às alterações efetuadas nos sistemas II e III a partir de 1990. A comparação dos vários sistemas por meio de contrastes indicou diferenças significativas entre as médias dos mesmos, apenas no

período de 1984 a 1989. Nesse caso, o índice de produtividade cultural foi mais elevado nos sistemas de rotação, em comparação às monoculturas de cevada e de trigo (fig. 1 e 2). Os sistemas foram comparados dois a dois. Além disso, o sistema com um inverno sem trigo (trigo/soja e ervilhaca/milho) foi mais eficiente energeticamente do que os demais sistemas de rotação.

Quesada et al. (1987), relataram a conversão e o balanço energético para algumas espécies separadamente. Para conversão e balanço energético, os autores obtiveram os seguintes valores: arroz irrigado (3,66 e 119.379 Mcal/ha), cana-de-açúcar (5,78 e 40.188 Mcal/ha), fumo (0,01 e 323 Mcal/ha), mandioca (11,37 e 145.594 Mcal/ha), milho (6,86 e 149.594 Mcal/ha), soja (2,02 e 504.528 Mcal/ha) e trigo (1,89 e 316.014 Mcal/ha), respectivamente.



Sistema I: cevada/soja; Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho; Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja; e Sistema IV: cevada/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja.

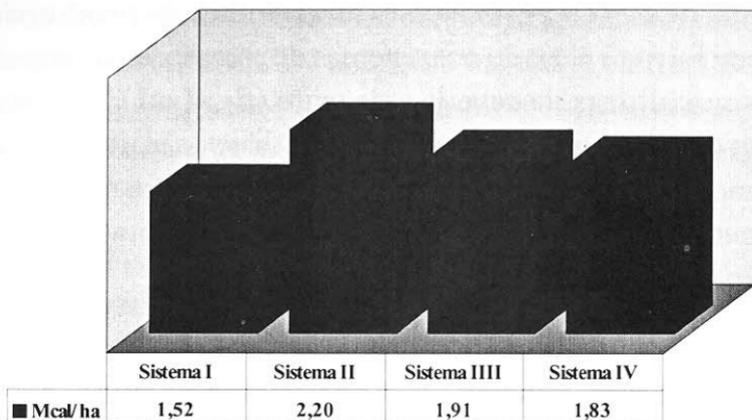
Fig. 1. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto, de 1984 a 1989.

Fonte: Santos et al. (1996a).

fungicidas, herbicidas, inseticidas, vacina e sal mineral para animais) e das operações de campo (semeadura, adubação, aplicação de produtos (herbicidas, fungicidas e inseticidas), adubação nitrogenada de cobertura e colheita) envolvidas no processo produtivo. A conversão energética das culturas ou dos sistemas estudados resultou da divisão da energia produzida (Mcal/ha) pela consumida (Mcal/ha), em cada cultura ou sistema. O balanço energético das culturas ou dos sistemas estudados resultou da subtração da energia produzida pela energia consumida.

A conversão energética e o balanço energético foram estudados em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto, por Santos et al. (2000). Os autores relataram que os sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) apresentaram maior conversão energética e balanço energético do que os sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja) e IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja) (fig. 3 e 4). Os sistemas foram comparados dois a dois. Evidenciou-se que a integração lavoura-pecuária sob plantio direto é viável energeticamente, pois a conversão e o balanço energético são positivos, porém, tendo sido significativamente maiores nos sistemas que incluíram a cultura de milho.

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2001) sobre sistemas de rotação de culturas envolvendo a cultura de trigo, sob preparo convencional de solo, e sob semeadura direta no verão, no período de 1987 a 1989, não foram encontradas diferenças significativas para conversão energética e balanço energético. Na média do período de 1990 a 1995, o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho



Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja.

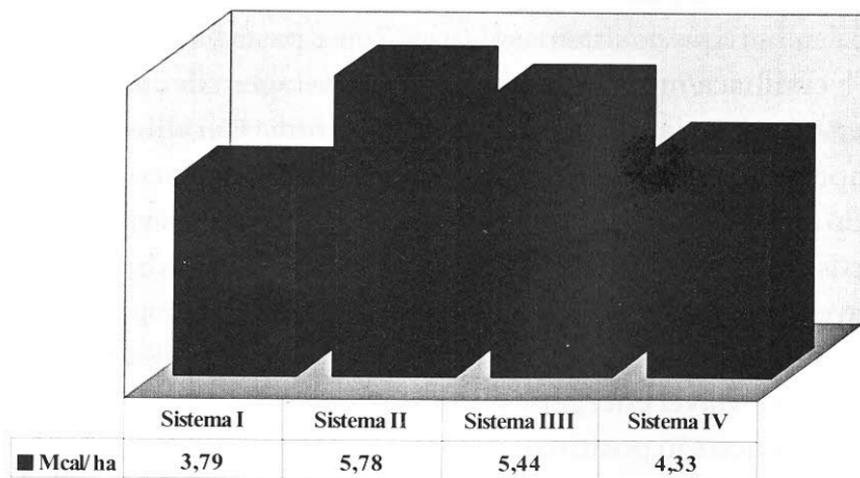
Fig. 2. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto, de 1984 a 1989.

Fonte: Santos et al. (1996b).

## Conversão e balanço energético em modelos de produção de grãos para soja

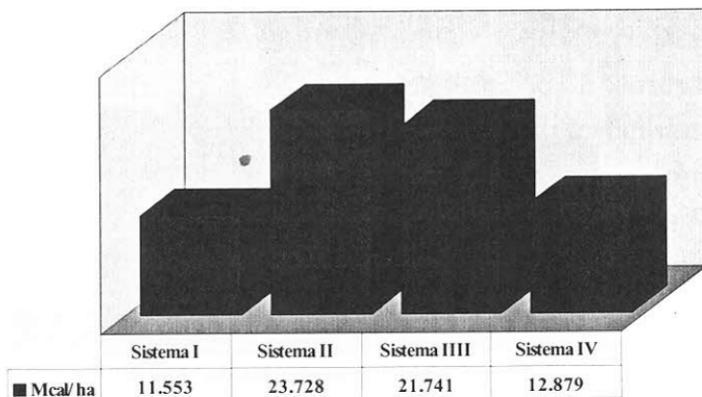
Os trabalhos que são apresentados a seguir tratam da conversão energética e do balanço energético, em sistema de produção de grãos. Como energia produzida ou receita energética (Mcal/ha), considerou-se a transformação do rendimento de grãos, ou da matéria seca, em energia. Como energia consumida ou energia cultural (Mcal/ha), considerou-se a soma dos coeficientes energéticos equivalentes dos insumos (fertilizantes, sementes,

ou sorgo) apresentou índice de conversão energética maior do que o do sistema I (trigo/soja), e os demais sistemas (III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; IV: trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; V: trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; VI: trigo/soja, trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca e ervilhaca/milho ou sorgo; e VII: pousio/soja) não diferiram entre si (Fig. 5). No mesmo período, o balanço energético (Fig. 6) para os sistemas II, III, IV, V e VI foram superiores ao do sistema VII. A rotação de culturas foi mais eficiente, por não aumentar o consumo de energia não renovável.

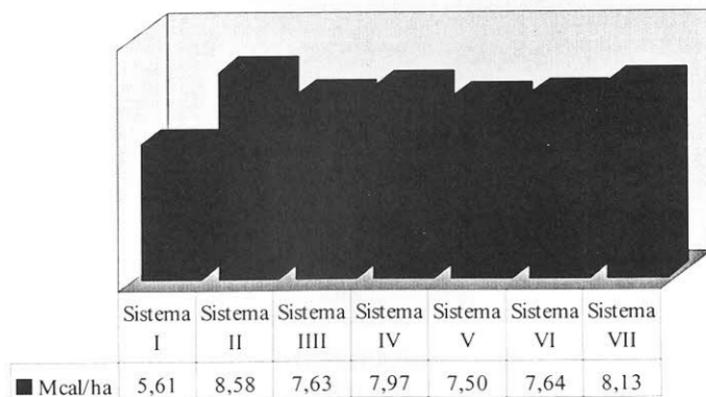


Sistema I: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja; Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; e Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.  
 Fig. 3. Conversão energética de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto, de 1990 a 1995.

Fonte: Santos et al. (2000).

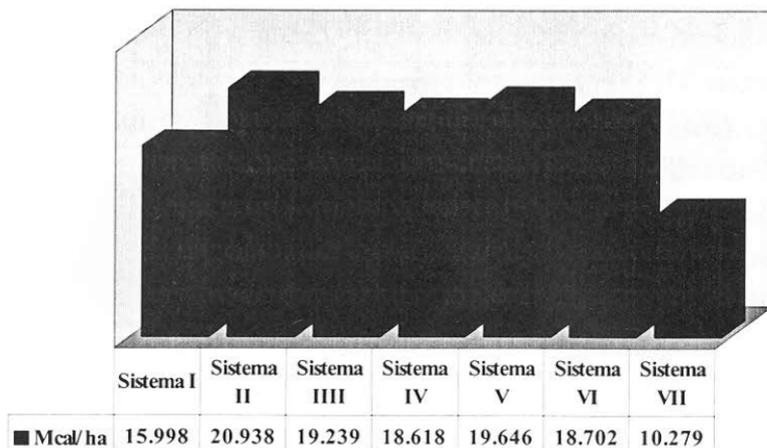


Sistema I: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja; Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; e Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.  
**Fig. 4. Balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno (Mcal/ha), sob plantio direto, de 1990 a 1995.** Fonte: Santos et al. (2000).



Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca milho; Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema IV: trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja e aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e Sistema VII: pousio/soja.

**Fig. 5. Conversão energética de sistemas de rotação de culturas para trigo, sob preparo convencional de solo, e sob semeadura direta, de 1990 a 1995.** Fonte: Santos et al. (2001).



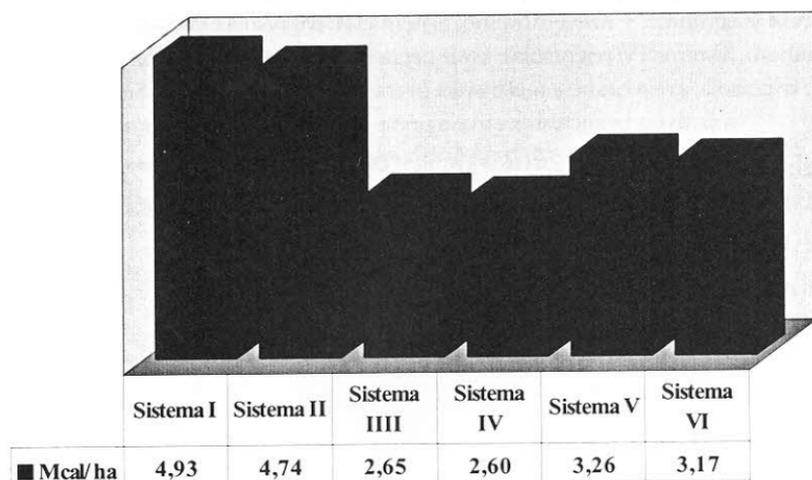
Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca milho; Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema IV: trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveiaa branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e Sistema VII: pousio/soja.

Fig. 6. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas para trigo, sob preparo convencional de solo, e sob semeadura direta, de 1990 a 1995.

Fonte: Santos et al. (2001).

Santos et al. (2002) trabalhando com sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão, observaram que os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia + ervilhaca + azevém/milho) foram os mais eficientes na conversão e balanço de energia (fig. 7 e 8). Neste trabalho, visou-se desenvolver sistemas mistos (lavoura + pecuária) para produzir pastagens tanto de inverno como de verão, para engorda de animais ou produção de leite. No sistema I, promoveu-se dois pastejos no inverno e a

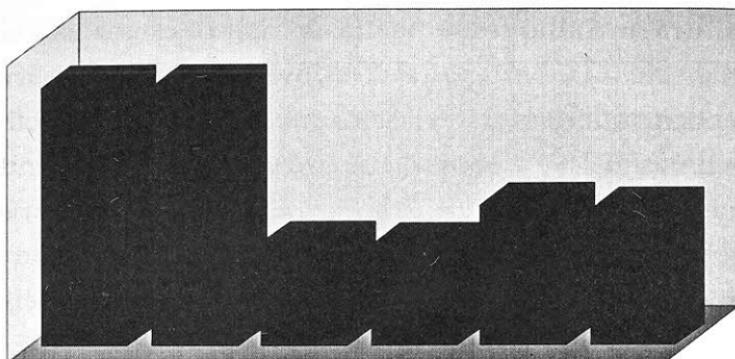
cultura de milho foi semeada na melhor época. No sistema II, foram efetuados três pastejos no inverno e milho foi semeado após a época preferencial. Os sistemas III e IV foram semelhantes aos sistemas I e II, excetuando-se a troca de milho por milheto. Por sua vez, os sistemas V e VI foram similares aos sistemas III e IV, incluindo-se aveia branca e soja, para produção de grãos. Os sistemas mistos, sob plantio direto foram os mais viáveis do ponto de vista energético.



Sistema I: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; Sistema III: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milheto; Sistema IV: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milheto; Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia preta + ervilhaca/milheto; Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milheto.

Fig. 7. Conversão energética de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto, de 1995 a 2000.

Fonte: Santos et al. (2002).



	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV	Sistema V	Sistema VI
■ Mcal/ha	17.279	17.318	6.875	6.689	9.357	9.051

Sistema I: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; Sistema III: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema IV: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milho.

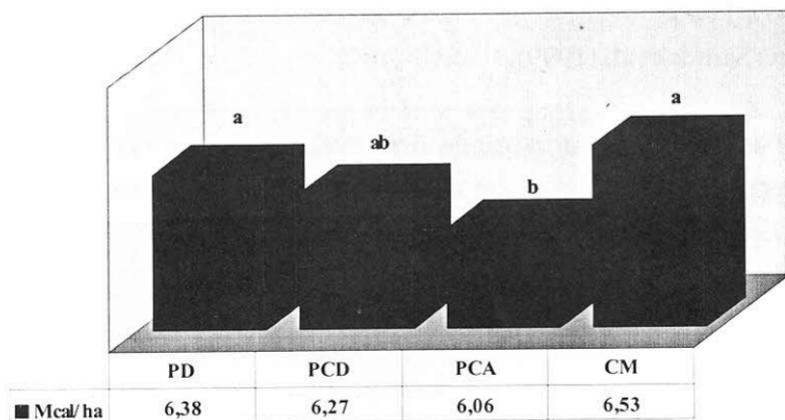
Fig. 8. Balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto, de 1995 a 2000.

Fonte: Santos et al. (2002).

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (1999) sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, observaram-se que para conversão e balanço energético, o manejo via plantio direto e o cultivo mínimo apresentaram os maiores índices, enquanto o manejo por preparo convencional de solo com arado de disco situou-se em posição intermediário e o preparo convencional de solo com arado de aivecas mostrou o menor índice (fig. 9 e 10). A maior conversão energética dos sistemas conservacionistas de manejo de solo, em relação aos sistemas de preparo convencionais, pode ser explicada, em parte, pela redução das demandas energéticas propiciadas pela diminuição do número de operações agrícolas (Zentner et al., 1991; Burt et al., 1994; Hernánz et al.,

1995; Borin et al., 1997). A rotação de culturas foi mais eficiente energeticamente do que a monocultura de trigo (fig. 11 e 12). De acordo com Pellizzi (1992), os cereais em monocultura tendem a consumir de 1 a 3% mais energia do que em rotação de culturas.

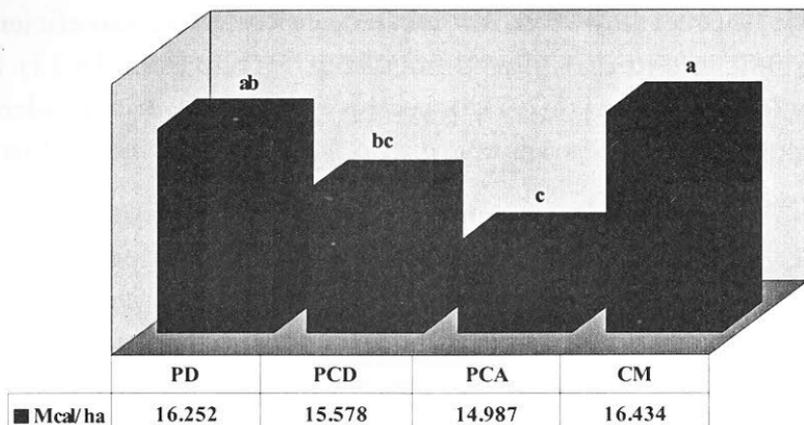
Os valores superiores a unidade (1,0) de conversão ou balanço energético são considerados conversores positivos de energia. De acordo com Quesada & Beber (1990), isso caracterizou balanço positivo entre todos os sistemas estudados acima. Quando menor que 1,0 o balanço energético é negativo. Assim, todos sistemas que obtiverem valores de conversão ou balanço energético acima da unidade podem ser considerados sistemas sustentáveis, do ponto de vista energético.



PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 9. Conversão energética de sistemas de manejo de solo, de 1986 a 1995.

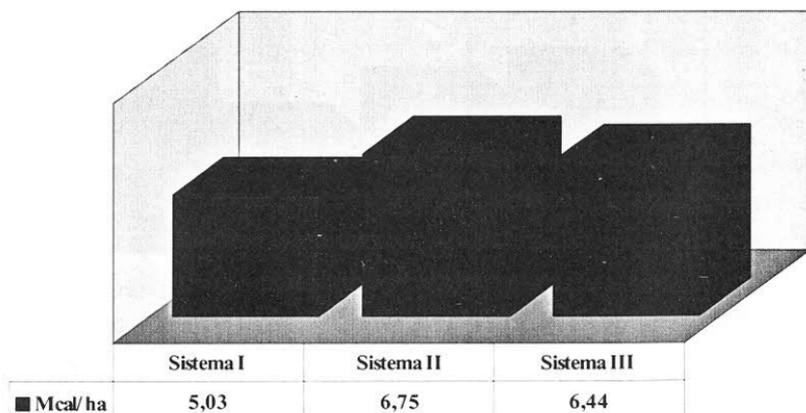
Fonte: Santos et al. (1999).



PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 10. Balanço energético de sistemas de manejo de solo, de 1986 a 1995.

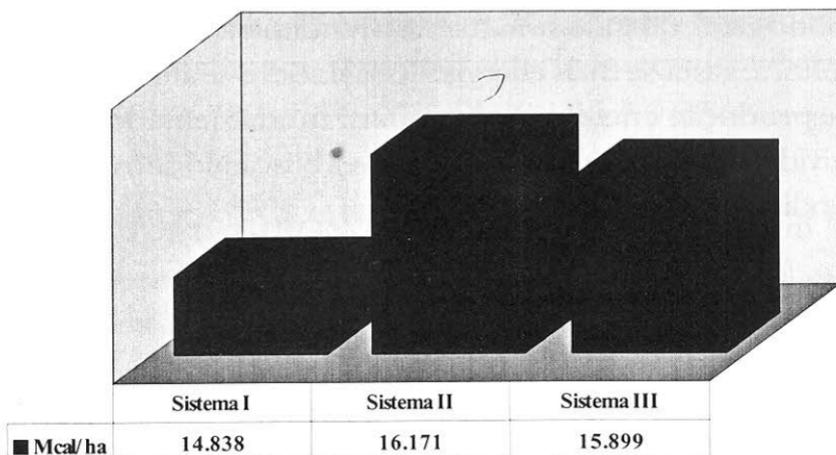
Fonte: Santos et al. (1999).



Sistema I: trigo/soja, Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; e Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 11. Conversão energética de sistemas de rotação de culturas, de 1986 a 1995.

Fonte: Santos et al. (1999).



Sistema I: trigo/soja, Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; e Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 12. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas, de 1986 a 1995.

Fonte: Santos et al. (1999).

Quando uma espécie não responde adequadamente aos seus investimentos energéticos aplicados, pode-se considerar que se está incorrendo em desperdício de energia, principalmente em países onde há carência de produtos agrícolas. Isso pode ser verdadeiro quando se usam sistemas não racionais de manejo de culturas.

As espécies ou os sistemas que apresentam rendimento de grãos mais elevado pelo uso de insumos que demandam grandes quantidades de calorías, dependem mais energia do que sistemas com rendimento menor e com menor consumo de energia. Este caso pode ser interpretado de duas maneiras: o que é mais importante? Produzir mais, gastando grande quantidade de energia, e suprir a possível demanda de alimentos, de fibras e de resinas, ou produzir menos, sem satisfazer essas necessidades? De

modo geral, quando se aumenta o rendimento de grãos de uma cultura, gasta-se mais energia. Todavia deve-se almejar sistemas de produção eficientes e racionais, fundamentados em uma atividade energeticamente sustentável, buscando-se o máximo de rendimento econômico.

Resumindo-se este capítulo, verifica-se que, os sistemas de rotação de culturas ou de produção de grãos foram mais eficientes quando comparados com a monocultura de cevada e de trigo. Além disso, os sistemas que permitiram com um inverno sem trigo ou sem cevada (trigo/soja e ervilhaca/milho ou cevada/soja e ervilhaca/milho) foram mais eficientes energeticamente do que os demais sistemas de rotação. Por sua vez, os sistemas trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho foram os mais eficientes do ponto de vista energético. Os maiores índices de conversão e balanço energético são observados em sistemas de manejos conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto), em comparação aos sistemas que adotam preparo convencional de solo (arado de discos e de aivecas).

## Referências Bibliográficas

BORIN, M.; MENINI, C.; SARTORI, L. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 40, n. 3/4, p. 209-226, 1997.

BURT, E. C.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. *Transactions of the Asae, St. Joseph*, v. 37, n. 3, p. 759-762, 1994. \*

HERNÁNZ, J. L.; GIRÓN, V. S.; CERISOLA, C. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research, Amsterdam*, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

MELLO, R. de. Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina. 1986. 139 p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MONEGAT, C. Avaliação multidimensional do desempenho do manejo do solo no sistema do pequeno agricultor. 1998. 144 f. Tese (Mestrado em Agrossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research, London*, v. 52, n. 1, p. 111-119, 1992.

PIMENTEL, D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C. Energia e mão-de-obra. *Ciência Hoje, Rio de Janeiro*, v. 11, n. 62, p. 21-26, 1990.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. de. Balanços energéticos agropecuários. Uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura, São Paulo*, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.

REGO, P. Q. A sustentabilidade do plantio direto. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa: SEAB; IAPAR, 1993. p. 89-100.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZONDAN, S.M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p. 743-752, 2000.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; CARMO, C. de. Conversão energética e balanço energético de sistemas de manejo de solo e de rotação com culturas produtoras de grãos no inverno e no verão. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Soja: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1998/99. Passo Fundo, 1999. p. 146-157. (Embrapa Trigo. Documentos, 4).

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; SANDINI, I. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 10, p. 721-727, 1996a.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C. Produtividade cultural de sistemas em rotação com o trigo, sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 4, p. 277-282, 1996b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2001.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava, PR. XVI. Eficiência energética dos sistemas de rotação com trigo, em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 2, p. 215-222, 1995.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava. XVII. Eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas para cevada, em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 29, n. 7, p. 1075-1081, 1994.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S.; MANTO, L. Contribuição das culturas de inverno e de verão para a conversão de sistemas de produção mistos, sob plantio direto. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA DE AVELA, 22., 2002, Passo Fundo, RS. Resultados experimentais... Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2002. p. 632-635.

SCOTT, W. O.; KRUMMEL, J. Energy used in producing soybeans. In: PIMENTEL, D. (Ed.). Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 117-121.

WHITE, D. J. Energy in agricultural systems. The Agricultural Engineer, Bedford, v. 30, n. 3, p. 52-58, 1975.

WILSON, P. N.; BRIGSTOCKE, T. D. A. Energy usage in British agriculture - a review of future prospects. Agricultural Systems, Essex, v. 5, n. 1, p. 51-70, 1980.

ZENTNER, R. P.; CAMPBELL, D. W.; CAMPBELL, C. A.; REID, D. W. Energy consideration of crop rotation in southwestern Saskatchewan. Canadian Agricultural Engineering, Ottawa, v. 26, n. 1, p. 25-29, 1984.

ZENTNER, R. P.; TESSIER, S.; PERU, M.; DYCK, F. B.; CAMPBELL, C. A. Economics of tillage systems for spring wheat production in southwestern Saskatchewan. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 21, n. 3/4, p. 225-242, 1991.



## Análises Econômica e de Risco de Modelos de Produção, sob Plantio Direto

*Henrique Pereira dos Santos, Ivo Ambrosi & Renato Serena Fontaneli*

---

### Introdução

A importância da rotação de culturas na agricultura do Rio Grande do Sul aumentou com a expansão do plantio direto, para a qual constitui um dos seus requisitos básicos (Fépagro, 1995). Nesse sistema, é fundamental o cultivo de espécies com alta produção de fitomassa, tais como as gramíneas: milho, aveia preta, aveia branca, trigo e cevada.

O sistema de rotação utilizado pelos agricultores que adotam plantio direto no Rio Grande do Sul inclui as seguintes culturas: trigo, cevada, triticale, aveia preta, aveia branca e leguminosas (normalmente ervilhaca), no período de outono-inverno; e soja e milho, no período de primavera-verão (Denardin & Kochhann, 1993).

Por outro lado, a atividade agrícola é afetada por grandes riscos e incertezas, que têm as origens nas variações naturais e incontroláveis de fatores que afetam o desenvolvimento de

culturas, tais como a quantidade e a distribuição das precipitações pluviais, variações de temperatura, a incidência de pragas, de doenças, de plantas daninhas e de outros fatores que afetam o rendimento de grãos (Ambrosi & Zentner, 1991). Ao mesmo tempo, existe um risco econômico ou de mercado, derivado de mudanças no preço dos produtos ou dos insumos e nas oportunidades de mercado.

O nível de risco pode ser diminuído por meio da adoção de práticas agrícolas que levem à diversificação da produção. Assim, rotação de culturas resulta em diversificação da produção e portanto em diminuição de riscos (Silva & Dhein, 1994).

De acordo com Ambrosi & Zentner (1991), a adoção de sistemas de manejo conservacionistas (plantio direto e cultivo mínimo), que visam manter ou aumentar a produtividade de solos, podem reduzir os efeitos do risco de ambiente, enquanto o uso de sistemas de rotação de culturas mais diversificados pode diminuir o risco econômico.

Desta forma, torna-se necessária a incorporação da análise de risco à avaliação econômica, nos estudos sobre rotação de culturas ou sistemas de produção de grãos ou ainda sistemas de produção de grãos integrados com pastagens. Assim, além das informações sobre rentabilidade de determinada tecnologia, o agricultor poderá avaliar o risco a que estará submetido ao tomar decisão de adoção (Porto et al., 1982).

A seguir são apresentados alguns resultados de trabalhos e estudos sobre economia, abrangendo análise econômica da receita líquida, análise da média variância da receita líquida e análise de risco da receita líquida (distribuição de probabilidade acumulada e dominância estocástica), envolvendo a cultura de soja.

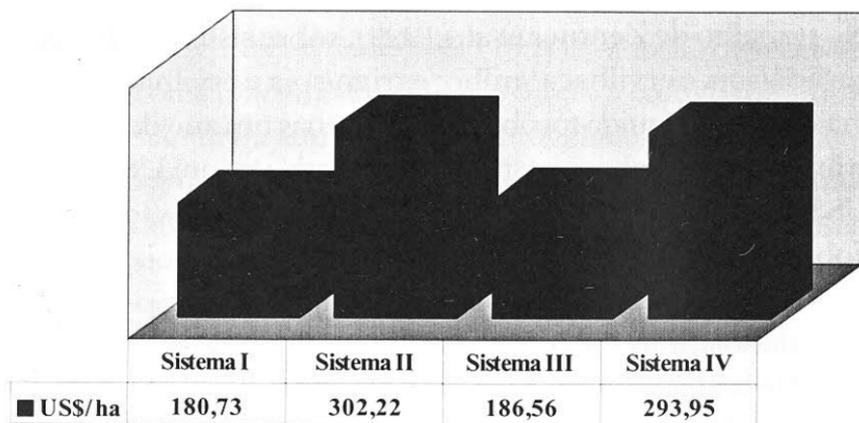
## Análises econômicas de sistemas de rotação de culturas para soja

Martin et al. (1984), considerando a rotação de culturas sob ponto de vista econômico da receita líquida, em nível de lavoura, obtiveram aumentos no rendimento de grãos quando utilizaram esta prática agrícola. A cultura de soja quando semeada após milho + mucuna, apresentou rendimento 16% acima da monocultura. Neste caso foi usado, somente 20% do herbicida, além de menor quantidade de nutrientes e de inseticidas.

No trabalho de Zentner et al. (1990), sobre sistemas de rotação cevada/soja e ervilhaca/milho; e trigo/soja e ervilhaca/milho, a maior receita líquida foi obtida com apenas um ano de rotação de culturas para ambas as espécies, respectivamente US\$ 397,00 e US\$ 427,00. O desempenho econômico de dois anos (cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho: US\$ 303,00; e trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho: US\$ 328,00); e três anos de rotação de inverno (cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho: US\$ 252,00 e trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e tremoço/milho: US\$ 279,00) ocupou posição intermediária, enquanto que, sob monocultura a receita líquida foi menor (cevada/soja: US\$ 146,00 e trigo/soja: US\$ 158,00).

Santos et al. (1995), trabalhando com quatro sistemas de rotação de culturas que incluíam trigo, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, verificaram que o sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosas/milho) foi mais rentável do que o sistema I (monocultura trigo/soja) (Fig. 1). Os sistemas foram comparados dois a dois. Por sua vez, o sistema IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosas/milho)

foi superior ao sistema III (trigo/soja, trevo vesiculoso/trevo vesiculoso e trevo vesiculoso/milho, de 1980 a 1983; e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989) e não diferiu do sistema I. Nos anos em que o sistema III (contemplava trevo vesiculoso para pastagem e corte), o mesmo apresentou-se inferior até mesmo ao sistema I. Isso deve-se ao fato de que essa cultura, no sistema III, foi destinada apenas para cobertura de solo. A aveia branca do sistema III, também foi destinada somente para cobertura.



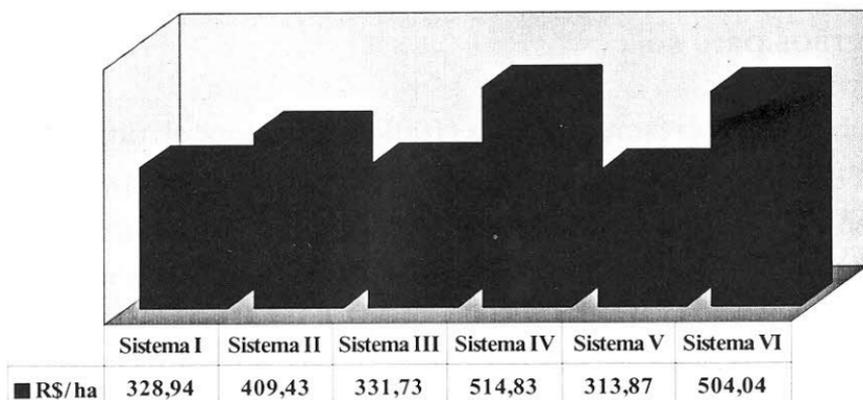
Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja, colza/soja cevada/soja e leguminosas/milho; Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho

Fig. 1. Receita líquida (US\$/ha) de sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989.

Fonte: Santos et al. (1995).

Em outro trabalho desenvolvido por Santos et al. (1999b), sob plantio direto, nos anos de 1987 a 1989 e de 1990 a 1991, com

cinco sistemas de rotação de culturas para triticales (I: triticales/soja; II: triticales/soja e aveia preta ou aveia branca/soja; III: triticales/soja e ervilhaca/milho; IV: triticales/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho; V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho), foram observadas somente diferenças entre as médias dos sistemas para receita líquida do primeiro período (Fig. 2). Os sistemas foram comparados dois a dois. Na média conjunta de 1987 a 1989, somente o sistema III foi superior ao sistema II quanto à receita líquida. Por outro lado, para esta receita o sistema III não diferiu significativamente dos sistemas I, IV e V. No segundo período de estudo, os sistemas III, IV e V que contemplavam a cultura de



Sistema I: triticales/soja; Sistema II: triticales/soja e aveia/soja; Sistema III: triticales/soja e ervilhaca/milho; Sistema IV: triticales/soja, aveia/soja e ervilhaca/milho; e Sistema V: triticales/soja, triticales/soja, aveia/soja e ervilhaca/milho

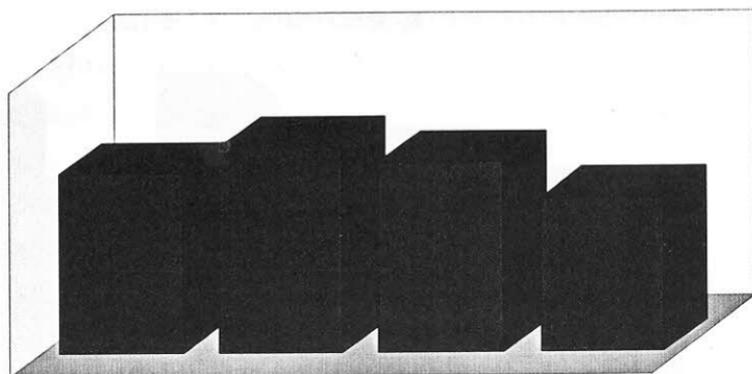
Fig. 2. Receita líquida (US\$/ha) de sistemas de rotação de culturas para triticales, de 1987 a 1989.

Fonte: Santos et al. (1999b).

milho como um dos seus componentes, essa gramínea, devido à longa estiagem de 1990 não permitiu, nesse ano, produção do cereal, resultando acentuado decréscimo nos valores da receita bruta desses sistemas indicando a importância e o potencial da cultura de milho como fonte de renda ao produtor. Além disso, a diferença obtida entre o primeiro (1987 a 1989) e o segundo período (1990 e 1991) pode estar relacionada à substituição (em 1990) da aveia preta pela aveia branca, nos sistemas II, IV e V, ou seja, de uma cultura de cobertura de solo por uma produtora de grãos de valor comercial, o que aumenta igualmente a receita líquida, principalmente do sistema II.

## Análises econômicas de modelos de produção de grãos para soja

Fontaneli et al. (2000), avaliaram a receita líquida em sistemas mistos (lavoura-pecuária), sob plantio direto. Na média de seis anos, o sistema II (trigo/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho) mostrou maior receita líquida do que o sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja). Por sua vez, o sistema II não diferiu significativamente dos sistemas I (trigo/soja, aveia preta pastejada/soja e aveia preta pastejada/soja) e III (trigo/soja, aveia preta + ervilhaca pastejada/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho) (Fig. 3). Os sistemas foram comparados dois a dois. Dentre os sistemas mistos, o sistema II pode ser considerado alternativa para seqüência de rotação com o sistema de produção de grãos (sistema IV).



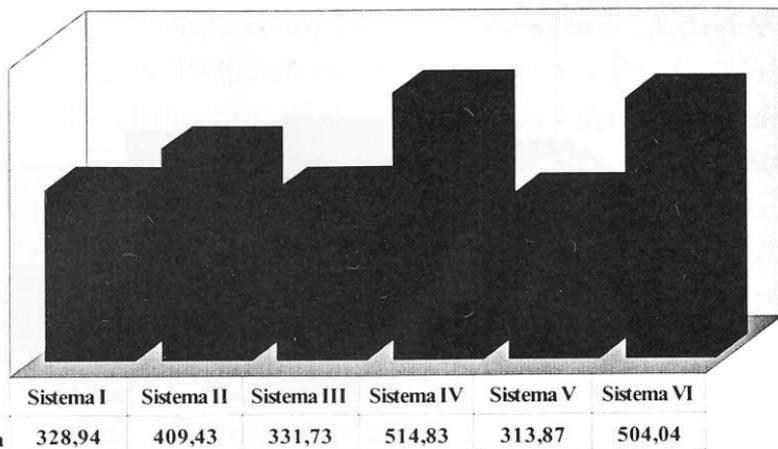
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV
■ US\$/ha	377,93	432,71	400,27	322,93

Sistema I: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja; Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/soja; Sistema III: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; e Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja

**Fig. 3.** Receita líquida (US\$/ha) de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais de inverno, de 1990 a 1995.

Fonte: Fontaneli et al. (2000).

No trabalho de Santos et al. (2001) sobre sistemas de rotação de culturas envolvendo a cultura de trigo e soja, sob preparo convencional de solo, e sob semeadura direta, no verão, no período de 1987 a 1989, os sistemas IV (trigo/soja, aveia branca/soja linho/soja e ervilhaca/milho) e VI (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) foram iguais entre si e superiores aos sistemas III (trigo/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho) e V (trigo/soja, trigo/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho), respectivamente para receita líquida por hectare (Fig. 4). Para as demais comparações, no mesmo período, as diferenças entre as receitas líquidas não foram significativas. Na média do período de 1900 a 1995, não foram encontradas diferenças significativas para a análise econômica.



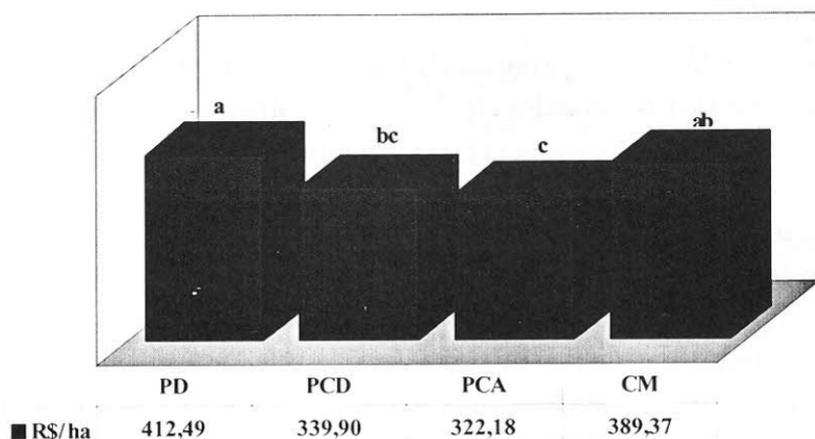
Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho; Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho; e trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho.

Fig. 4. Receita líquida (R\$/ha) de sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1987 a 1989.

Fonte: Santos et al. (2001).

Santos et al. (2002) trabalhando com sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, observaram que, o plantio direto e o cultivo mínimo apresentaram receita líquida mais elevada (Fig. 5). O preparo convencional de solo com arado de discos enquadrou-se em posição intermediária, enquanto o preparo convencional com arado de aivecas mostrou a menor receita líquida. A maior receita líquida dos sistemas conservacionistas de manejo de solo, em comparação aos sistemas de preparo convencional de solo pode ser explicada, em parte, pela diminuição no número de operações agrícolas (Burt et al., 1994; Hernánz et al., 1995; Borin et al., 1997; Gray et al., 1997; Légère et al., 1997). Não foram observadas diferenças significativas em receita líquida, decorrente dos sistemas

de rotação de culturas. A cultura de soja mantém a receita líquida estabilizada em todos os anos.



PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fig. 5. Receita líquida (R\$/ha) de sistemas de manejo de solo para trigo, de 1994 a 1997.

Fonte: Santos et al. (2002).

## Análises de risco de sistemas de rotação de culturas para soja

Existem vários modelos matemáticos que incorporam o risco em decisões individuais e que apresentam forte poder de discriminação entre alternativas (Cruz, 1980). Dentre esses modelos, o da média variância da receita líquida e o de risco da receita líquida

(distribuição de probabilidade acumulada é dominância estocástica) (Cruz, 1986) se destacam. A seguir serão apresentados alguns exemplos desses modelos em sistemas de rotação de culturas ou sistemas de produção de grãos envolvendo a cultura de soja.

A análise da média variância da receita líquida (Feldstein, 1969) presume que o tomador de decisão escolherá a alternativa que apresente menor variância para uma mesma média ou escolherá alternativa que apresentará maior média para um nível igual de variância. A análise da distribuição de probabilidade acumulada (Anderson, 1976) baseia-se no critério da segurança em primeiro lugar, ou seja, qual a possibilidade de um dos tratamentos apresentarem uma dada receita líquida? Nesse caso, os dados são gerados a partir da distribuição completa de probabilidade da distribuição normal dentro de cada tratamento estudado. Em cada sistema essa distribuição é dividida em 20 intervalos de 5% de probabilidade em cada tratamento. A análise da dominância estocástica (Hanoch & Levy, 1970) é outro artifício matemático que leva em conta toda a distribuição cumulativa dos retornos de cada tratamento. Esse modelo tem a vantagem de reduzir em muito o número de alternativas eficientes, porque dispõe de alto nível de discriminação.

A análise de risco em diferentes sistemas de manejo de solo, por meio da dominância estocástica, desenvolvida por Salomão (1990), revela que os maiores rendimentos de milho, de soja e de trigo foram obtidas com plantio direto, em níveis que variaram conforme o sistema de rotação de culturas adotado. O mesmo autor concluiu ainda que o plantio direto, sob qualquer situação, mostrou desempenho superior em anos climaticamente desfavoráveis ao desenvolvimento das três espécies.

No estudo de Santos et al. (1998b), sobre sistemas de rotação de culturas incluindo cevada (I: cevada/soja; II: cevada/soja e

ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; e IV: cevada/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja), durante dez anos, sob plantio direto, mostrou que o sistema II distinguiu-se dos demais sistemas por meio da análise da média variância da receita líquida pela menor variância (US\$ 111,61) e pela maior média (US\$ 355,00) (Tabela 1). Pelo método da dominância estocástica, o sistema II mostrou-se a melhor alternativa de produção a ser oferecida aos agricultores, sob o ponto de vista de lucratividade e de menor risco (Tabela 2). Ainda pelo método da dominância estocástica os sistemas foram classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema III e sistema IV, sendo o sistema I (monocultura cevada/soja) a pior opção em termos de rentabilidade e de risco.

Tabela 1. Média variância da receita líquida média anual por hectare, em sistemas de rotação de culturas para cevada.

Sistema de rotação	Receita líquida média	
	1984 a 1993	Desvio padrão
	----- USS -----	
I	266,07 b	171,81
II	355,00 a	111,61
III	305,50 ab	116,72
IV	283,50 a	97,69

I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; e IV: cevada/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fonte: Santos et al. (1998b).

Tabela 2. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de rotação de culturas para cevada, no período entre 1984 e 1993.

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	0
II	1	-	1	1
III	1	0	-	1
IV	1	0	0	-

I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; e IV: cevada/soja, ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja. O valor 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (1998b).

Santos et al. (2000) também estudando sistemas de rotação de culturas para trigo (I: trigo/soja; II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e IV: trigo/soja, leguminosas/milho, cevada/soja e aveia branca/soja) durante dez anos, sob plantio direto, constataram que o sistema II distinguiu-se dos demais, por meio da análise da média variância, da distribuição de probabilidade acumulada e da dominância estocástica da receita líquida. Pela análise da média variância da receita líquida, o sistema II apresentou maior lucratividade nesse período de estudo (Tabela 3).

Tabela 3. Média variância da receita líquida média anual por hectare, em sistemas de rotação de culturas para trigo

Sistema de rotação	Receita líquida média	
	1984 a 1993	Desvio padrão
	----- US\$ -----	
I	290,98 b	128,19
II	370,40 a	104,65
III	311,76 b	98,46
IV	315,59 b	101,52

I: trigo/soja; II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e IV: trigo/soja, leguminosas/milho, cevada/soja e aveia branca/soja. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fonte: Santos et al. (2000).

A análise da distribuição de probabilidade da receita líquida possibilitou, também, escolher como melhor opção econômica o sistema II, em relação aos demais sistemas estudados (Santos et al., 2000). O sistema II permitiu, mesmo com baixa probabilidade de risco (5%), obter maior renda líquida (US\$ 207,00), comparado aos sistemas I (US\$ 90,83), III (US\$ 158,03) e IV (US\$ 157,08). Isso é igualmente verdadeiro para os maiores níveis de probabilidade acumulada (100%). O sistema II (US\$ 648,94) pode ser preferido em relação aos sistemas I (US\$ 632,18), III (US\$ 573,83) e IV (US\$ 585,80). Isso vem reforçar os resultados obtidos pela análise da média variância da receita líquida.

Pela análise da dominância estocástica da receita líquida, o sistema II dominou os demais sistemas estudados (Tabela 4) (Santos et al., 2000). Esse método manteve o sistema II como melhor alternativa. Neste trabalho ficou evidente que o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja) foi o mais lucrativo e seguro, do ponto de vista de risco. Por esse método, os sistemas foram classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema IV, e sistema III, e o sistema I sendo a última opção em termos de rentabilidade e de risco.

Tabela 4. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de rotação de culturas para trigo, no período entre 1984 e 1993.

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	0
II	1	-	1	1
III	1	0	-	0
IV	1	0	1	-

I: trigo/soja; II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e IV: trigo/soja, leguminosas/milho, cevada/soja e aveia branca/soja. O valor 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (2000).

Em estudo realizado em quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob plantio direto, no verão, Santos et al. (1999a), observaram por

meio da média variância que o sistemas II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosas/milho) e IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosas/milho) foram significativamente superiores para receita líquida aos sistema I (monocultura trigo/soja) e III (trigo/soja, trevo visiculoso/trevo vesiculoso e trevo vesiculoso/milho, de 1980 a 1983; e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989) (Tabela 5). Nesse caso, essa análise permitiu separar os sistemas II e IV como as melhores alternativas a serem oferecidas aos agricultores, apresentando maior lucratividade. Por outro lado, na análise da dominância estocástica da receita líquida, o sistema II dominou os demais sistemas estudados (Tabela 6). Verificou-se que o sistema II mostrou-se, ao nível de experimento, como alternativa de menor risco, caso adotado pelos agricultores.

Tabela 5. Média variância da receita líquida média anual por hectare, em sistemas de rotação de culturas para trigo, no período entre 1980 e 1989.

Sistema de rotação	Receita líquida média	
	1980 a 1989	Desvio padrão
	----- US\$/ha -----	
I	180,73 b	112,93
II	302,22 a	192,98
III	186,56 b	250,94
IV	293,95 a	200,14

I: trigo/soja; II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosas/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e IV trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosas/milho. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fonte: Santos et al. (1999a).

Tabela 6. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de rotação de culturas para trigo, no período entre 1980 e 1989.

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	0
II	1	-	1	1
III	1	0	-	0
IV	1	0	1	-

I: trigo/soja; II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosas/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e IV trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosas/milho. O valor 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (1999a).

Em trabalho de Santos et al. (1998a) sobre cinco sistemas de rotação de culturas incluindo triticales (I: triticales/soja; II: triticales/soja e aveia preta ou aveia branca/soja; III: triticales/soja e ervilhaca/milho; IV: triticales/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho; V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta ou aveia aveia branca/soja), sob plantio direto, nos anos de 1987 a 1989 e de 1990 a 1991, verificaram por meio da dominância estocástica que o sistema III e o sistema II, dominaram os demais sistemas estudados, respectivamente, no primeiro e no segundo período (tabelas 7 e 8). Observou-se que, o sistema III, no primeiro período, e o sistema II, no segundo período apresentam-se, como as opções de menor risco, caso adotados pelos agricultores. As

diferenças obtidas entre o primeiro (1987 a 1989) e o segundo período (1990 a 1991) podem estar relacionadas à substituição (em 1990) da aveia preta pela aveia branca, nos sistemas II, IV e V, ou seja, troca de uma cultura de cobertura de solo por outra produtora de grãos de valor comercial. Isso aumentou igualmente a receita líquida, principalmente do sistema II, aliado a não colheita do milho, em 1990, nos sistemas III, IV e V, devido à forte estiagem que ocorreu na fase inicial de florescimento dessa gramínea, o que diminuiu a receita líquida dos referidos sistemas.

Tabela 7. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de rotação de culturas para triticales, no período entre 1987 e 1989.

Sistema de rotação	Sistema de rotação				
	I	II	III	IV	V
I	-	1	0	0	0
II	0	-	0	0	0
III	1	1	-	1	1
IV	1	1	0	-	1
V	1	1	0	0	-

I: triticales/soja; II: triticales/soja e aveia preta ou aveia branca/soja; III: triticales/soja e ervilhaca/milho; IV: triticales/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta ou aveia aveia branca/soja. O valor 0 (zero) significa que a linha é dominada pela coluna, e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (1998a).

Tabela 8. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de rotação de culturas para triticale, no período entre 1990 e 1991.

Sistema de rotação	Sistema de rotação				
	I	II	III	IV	V
I	-	0	1	1	1
II	1	-	1	1	1
III	0	0	-	0	0
IV	0	0	1	-	1
V	0	0	1	0	-

I: triticale/soja; II: triticale/soja e aveia preta ou aveia branca/soja; III: triticale/soja e ervilhaca/milho; IV: triticale/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e V: triticale/soja, triticale/soja, aveia preta ou aveia aveia branca/soja. O valor 0 (zero) significa que a linha é dominada pela coluna, e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (1998a).

## Análises de risco de sistemas de produção de grãos para soja

Ambrosi et al. (2001), trabalhando com sistemas de produção de grãos integrando pastagens anuais de inverno, sob plantio direto, separaram por meio da dominância estocástica da receita líquida o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) dos sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja), III (trigo/soja, pastagem de aveia

preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja) (Tabela 9). Por essa análise, o sistema II mostrou ser a melhor alternativa de produção a ser oferecida aos agricultores, do ponto de vista de rentabilidade e de menor risco. Os sistemas podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema III, sistema I, e o sistema IV como sendo a pior opção em termos de rentabilidade e de risco.

Tabela 9. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, no período entre 1990 e 1995

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	1
II	1	-	1	1
III	1	0	-	1
IV	0	0	0	-

I: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja; II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho); e IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja. O valor 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Ambrosi et al. (2001).

No trabalho de Santos et al. (2004) sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, durante quatro anos, de acordo com

a análise da média variância, o plantio direto (PD) e o cultivo mínimo (CM) apresentaram receita líquida por hectare mais elevada (Tabela 10). O preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) situou-se em posição intermediária, enquanto o preparo convencional de solo com arado de aivecas (PCA) mostrou menor receita líquida. Nesse caso, a análise da receita líquida por meio da média variância permitiu apontar o sistema plantio direto e o cultivo mínimo como as melhores alternativas de manejo de solo a serem oferecidas ao agricultor. Pela análise da média variância, não houve diferenças significativas para receita líquida entre os sistemas de rotação estudados.

Tabela 10. Média variância da receita líquida média anual por hectare, em sistemas de manejo de solo, no período entre 1994 e 1997.

Sistema de manejo de solo	Receita líquida média	
	de 1994 a 1997	Desvio padrão
	----- RS/ha -----	
PD	412,00 a	171,00
PCD	340,00 bc	184,00
PCA	322,00 c	169,00
PM	389,00 ab	178,00

Plantio direto: PD; preparo convencional de solo com arado de discos: PCD; preparo convencional de solo com arado de aivecas: PCA; e o cultivo mínimo: CM. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Fonte: Santos et al. (2004).

Pela análise de distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida o sistema plantio direto mostrou, na baixa probabilidade de risco (5%) e na alta probabilidade de risco (100%), maior renda líquida por hectare, comparativamente ao preparo convencional de solo com arado de discos, ao preparo convencional de solo com arado de aivecas e ao cultivo mínimo (Santos et al., 2004). Isto significa que a tecnologia aplicada ao plantio direto promoveu maior lucratividade do que nos demais sistemas de manejo de solo.

Na análise da probabilidade acumulada da receita líquida para rotação de culturas, por Santos et al. (2004) o sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/sorgo ou milho) apresentou, na baixa probabilidade (5%), maior renda líquida por hectare, em comparação aos sistemas I (trigo/soja) e II (trigo/soja e ervilhaca/sorgo ou milho). Em caso de alta probabilidade de risco (100%), o sistema II obteve maior renda líquida por hectare do que os sistemas I e III.

A análise da dominância estocástica aponta, também, o plantio direto (PD) como o modo de manejo de solo mais lucrativo e de menor risco (Tabela 11). Por sua vez, o cultivo mínimo (CM) superou o preparo convencional de solo com arado de discos (PCD) e com arado de aivecas (PCA), e o preparo convencional de solo com arado de discos superou o preparo convencional de solo com arado de aivecas. Os sistemas podem ser classificados, em termos de promoção de maior rentabilidade e menor risco, na seguinte ordem decrescente: plantio direto, cultivo mínimo, preparo convencional de solo com arado de discos e preparo convencional de solo com arado de aivecas. A vantagem do sistema plantio direto, em comparação aos modos de preparo convencional de solo, pode ser explicado, em parte, pela redução no número de operações agrícolas que, conseqüentemente, elevou a receita

líquida (Zentner et al., 1991; Burt et al., 1994; Hernández et al., 1995; Borin et al., 1997; Gray et al., 1997; Légère et al., 1997).

Tabela 11. Dominância estocástica da receita líquida média dos sistemas de manejo de solo, no período entre 1994 e 1997.

Sistema de manejo de solo	Sistema de manejo			
	PD	PCD	PCA	PM
PD	-	1	1	1
PCD	0	-	1	0
PCA	0	0	-	0
CM	0	1	1	-

plantio direto: PD; preparo convencional de solo com arado de discos: PCD; preparo convencional de solo com arado de aivecas: PCA; e o cultivo mínimo: CM. O valor 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Fonte: Santos et al. (2004).

O método de análise por meio da dominância estocástica apresenta maior nível de discriminação que o método da média variância e deve ser empregado, sempre que possível, para testar novas indicações aos agricultores, porque oferece opções de abrangência limitada. No presente capítulo, que apresenta a comparação entre vários exemplos de sistema de manejo de solo e de rotação de culturas foi apresentado um sistema por exemplo pela análise de dominância estocástica em cada avaliação.

Sumarizando o conteúdo abordado neste capítulo, conclui-se que, a rotação de culturas, em função dos benefícios conservacionistas

e econômicos propiciados, constitui um requisito fundamental à viabilização do sistema plantio direto, como método de manejo de solo e de culturas. Portanto, as espécies contempladas no planejamento do sistema de rotação de culturas devem atender tanto os aspectos técnicos, que objetivam a conservação do solo e a preservação ambiente, como os aspectos econômicos e comerciais, compatíveis com os sistemas de produção praticados regionalmente.

## Referências Bibliográficas

AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, 2001.

AMBROSI, I.; ZENTNER, R. P. Aspectos econômicos no sistema de manejo conservacionista. In: FERNADES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. Manual de manejo conservacionista do solo para os estudos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; CIDA, 1991. p. 63-69. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

ANDERSON, J. R. Modeling decision-making under risk. México: CIMMYT, 1976. 1 v., não paginado.

BORIN, M.; MENINI, C.; SARTORI, L. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 40, n. 3/4, p. 209-226, 1997.

BURT, E. C.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. *Transactions of the Asae*, St. Joseph, v. 37, n. 3, p. 759-762, 1994.

CRUZ, E. M. da. Aspectos teóricos sobre incorporação de risco em modelos de decisão. In: CONTINI, E.; ARAÚJO, J. D. de; OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E. Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão. 2. ed. rev. Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 237-260. (EMBRAPA-DEP Documentos, 7).

CRUZ, F. R. da. PACTA - Programa de Avaliação Comparativa de Tecnologias Alternativas: guia do usuário, versão 2. Brasília: EMBRAPA-DDM, 1980. 7 p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; FUNDACEP FECOTRIGO; Fundação ABC; Aldeia Norte, 1993. p. 19-27.

FELDSTEIN, M. S. Mean variance analysis in the theory of liquidity preference and portfolio selection. *Review of Economic Studies*, Oxford, v. 36, n. 1, p. 5-14, 1969.

FEPAGRO. Recomendações técnicas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO; EMATER-RS; FECOTRIGO, 1995. 124 p.

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, 2000.

GRAY, A. W.; HARMAN, W. L.; RICHARDSON, J. W.; WIESE, A. F.; REGIER, G. C.; ZIMMEL, P. T.; LANSFORD, V. D. Economic and financial viability of residue management: an application to the Texas High Plains. Journal of Production Agriculture, Madison, v. 10, n. 1, p. 175-183, 1997.

HANOCH, G.; LEVY, H. Efficient portfolio selection with quadratic and cubic utility. Journal of Business, Chicago, v. 43, n. 2, p. 181-189, 1970.

HERNÁNZ, J. L.; GIRÓN, V. S.; CERISOLA, C. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

LÉGÈRE, A.; SAMSON, N.; RIOUX, R.; ANGERS, D. A.; SIMARD, R. R. Response of spring barley to crop rotation, conservation tillage, and weed management intensity. Agronomy Journal, Madison, v. 89, n. 4, p. 628-638, 1997.

MARTIN, N. B.; SANTOS, Z. A. P. S.; ASSUMPÇÃO, R. Análise econômica da utilização da adubação verde nas culturas de algodão e soja em rotação com milho e amendoim. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Adubação verde no Brasil. Campinas, 1984. p. 133-160.

PORTO, V. H. da F.; CRUZ, E. R. da; INFELD, J. A. Metodologia para incorporação de risco em modelos de decisão usados na análise comparativa entre alternativas: o caso da cultura do arroz irrigado. Revista de Economia Rural, Brasília, v. 20, n. 2, p. 93-211, abr./jun. 1982.

SALOMÃO, C. C. Sistemas de plantio direto e convencional com enfoque de análise de decisão. 1990. 129 p. Escola Superior da agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; SCHENEIDER, G. A. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para a região do Planalto Médio do RS. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 175-182, 2001.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B. Análise de risco em quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 4, p. 519-526, abr. 1999a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Análise de risco de sistemas de rotação de culturas com triticales, sob sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 4, p. 375-383, abr. 1998a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; CARMO, C. de. Análise econômica de sistemas de manejo de solo e de rotação com culturas. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 8, n. 1/2, p. 103-110, 2002.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; CARMO, C. do. Lucratividade e risco de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 97-103, 2004.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; SANDINI, I. Análise de risco de sistemas de rotação de culturas com cevada, em plantio direto, num período de dez anos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 8, p. 1221-1227, 1998b.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; WOBETO, C. Risco de sistemas de rotação de culturas de inverno e verão, sob plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 37-42, 2000.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; AMBROSI, I. Análise econômica de quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1167-1175, 1995.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Sistemas de produção alternativos de triticales sob plantio direto, em Passo Fundo, RS. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 2, p. 201-208, 1999b.

SILVA, R. I. da; DHEIN, R. A. Viabilização sócio-econômica da rotação de culturas e da adubação verde na CONTRIJUL. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 15-27. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).

ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I. Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. Conservation tillage for subtropical areas: proceedings. Passo Fundo: CIDA; EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 96-116.



**Embrapa**

---

**Trigo**

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

