

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná



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

Documentos 327

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná

*Julio Cesar Franchini
Joaquim Mariano da Costa
Henrique Debiasi
Eleno Torres
Autores*

Embrapa Soja
Londrina, PR
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral
Cx. Postal 231, CEP 86001-970, Distrito de Warta, Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000
Fax: (43) 33716100
www.cnpso.embrapa.br
sac@cnpso.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: José Renato Bouças Farias

Secretário-Executivo: Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros: Adeney de Freitas Bueno, Adilson de Oliveira Junior, Clara Beatriz Hoffmann Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, Cláudio Guilherme Portela de Carvalho, Marcelo Alvares de Oliveira, Maria Cristina Neves de Oliveira e Norman Neumaier.

Supervisão editorial: Odilon Ferreira Saraiva

Normalização bibliográfica: Ademir Benedito Alves de Lima

Editoração eletrônica: Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol

Foto(s) da capa: Julio Franchini

1^a edição

1^a impressão (2011): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável
no Paraná / Julio Cesar Franchini ...[et al.]. – Londrina: Embrapa
Soja, 2011.

52p. - - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.327)

1.Conservação do solo. 2.Rotação de cultura. I.Franchini, Julio Cesar.
II.Costa, Joaquim Mariano. III. Debiasi, Henrique. IV.Torres, Eleno. V.Título. VI.Série.

CDD 631.452 (21.ed)

© Embrapa 2011

Autores

Julio Cesar Franchini

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR
franchin@cnpso.embrapa.br

Joaquim Mariano da Costa

Engenheiro Agrônomo
Coamo Agroindustrial Cooperativa
Campo Mourão, PR
JMariano@coamo.com.br

Henrique Debiasi

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR
debiasi@cnpso.embrapa.br

Eleno Torres

Engenheiro Agrônomo, M.Sc.
Pesquisador aposentado da Embrapa Soja
Londrina, PR
elenotorres@sercomtel.com.br

Apresentação

O Brasil ocupa um lugar de destaque no cenário agrícola mundial, sendo um dos maiores produtores e exportadores de produtos agropecuários do mundo. Além de cumprir com sua função de produção de alimentos para abastecer o mercado interno, a agricultura tem exercido papel fundamental para o equilíbrio da balança comercial brasileira. No entanto, é importante destacar que a manutenção e/ou melhoria do desempenho econômico e social do agronegócio passa, necessariamente, pelo desenvolvimento e adoção de tecnologias capazes de manter e/ou incrementar o potencial produtivo do solo, de modo a aumentar a produtividade e racionalizar a utilização dos insumos necessários à produção agropecuária. Ao mesmo tempo, essas tecnologias devem contribuir para a promoção de uma agricultura ambientalmente sustentável, aspecto que vem sendo cada vez mais cobrado pela sociedade.

O sistema plantio direto se constitui em uma tecnologia que, comprovadamente, contribui para a maior sustentabilidade da agricultura, particularmente no que se refere à produção de grãos. Entretanto, o sucesso de tal sistema requer o atendimento a alguns princípios básicos, entre os quais se destaca a utilização de rotação de culturas.

Neste contexto, a Embrapa Soja, em parceria com diversas instituições públicas e privadas, tem se empenhado na condução de pesquisas de longo prazo que permitam desenvolver e validar sistemas de rotação de culturas adaptados a diferentes regiões do Paraná, importante Estado brasileiro produtor de grãos.

Neste documento, são apresentados e discutidos resultados de pesquisa referentes à rotação de culturas no sistema plantio direto, obtidos em experimentos conduzidos conjuntamente pela Embrapa Soja e pela Coamo Cooperativa Agroindustrial, no Paraná. Após quase 30 anos de pesquisa, foram obtidos dados que comprovam a importância da rotação de culturas para aumentar a sustentabilidade da produção agrícola.

A Embrapa Soja espera que as informações disponibilizadas nesta publicação possam subsidiar o planejamento de sistemas de rotação de culturas adaptados às diferentes regiões do Paraná, contribuir para aumentar a adoção da referida prática e, assim, promover a maior sustentabilidade econômica, social e ambiental dos sistemas de produção de grãos no Estado do Paraná.

José Renato Bouças Farias
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Soja

Sumário

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.....	11
Conceito e princípios básicos.....	12
Sistemas de sucessão e rotação de culturas utilizados no Estado do Paraná.....	14
Efeito da rotação de culturas sobre a qualidade do solo.....	15
Qualidade física do solo	15
Qualidade química do solo	19
Qualidade biológica do solo.....	20
Desempenho das principais culturas de grãos em sistemas de rotação de culturas	22
Soja	22
Milho (1 ^a safra)	28
Milho safrinha	33
Trigo	36
Utilização de forrageiras tropicais em sistemas de produção de soja	38
Considerações finais.....	46
Referências	47

Resumo

A rotação de culturas constitui-se em um dos requisitos para a qualidade do sistema plantio direto. Com base em resultados de pesquisa obtidos em experimentos de longa duração conduzidos em diversas regiões do Paraná, este trabalho tem como objetivo demonstrar os benefícios da rotação de culturas para a sustentabilidade da produção agrícola, de modo a contribuir para aumentar a adoção dessa prática pelos produtores, assim como auxiliar na concepção e planejamento de sistemas de rotação de culturas. Os dados obtidos têm demonstrado que os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade do solo, bem como sobre a dinâmica de pragas, doenças e plantas daninhas, resultam em aumentos na produtividade de todas as culturas econômicas envolvidas no sistema de produção, podendo ainda reduzir os custos de produção pela racionalização do uso de insumos. Do mesmo modo, a rotação de culturas tem se revelado uma prática essencial para aumentar a estabilidade da produção das culturas face às variações climáticas comumente observadas no Paraná, não só pela melhoria na qualidade do solo e pela produção de cobertura, mas também por proporcionar a diversificação de culturais e o escalonamento da época de semeadura. A utilização de diferentes espécies vegetais para produção de grãos e/ou forragem permite a diversificação da renda da propriedade, reduzindo os riscos de mercado e de clima inerente à atividade agrícola. Portanto, é possível afirmar com segurança que a rotação de culturas é um investimento de médio-longo prazo com retorno garantido.

Abstract

Crop rotation has been recognized as a requirement for the quality of no-tillage system. Based on research data obtained from long-term trials carried out at different regions of State of Paraná, Southern Brazil, this paper aims to demonstrate the benefits of crop rotation for agricultural production sustainability, in order to increase its adoption by the farmers, as well as supporting the design and planning of crop rotation systems. The data obtained from these studies have shown that long-term benefits provided by crop rotation on soil quality, as well as on the dynamics of pests, diseases and weeds, result in increases in yields of all grain crops involved in the production system. Reductions in production costs by rationalizing the use of inputs has also been associated to crop rotation. Similarly, crop rotation has been considered an essential practice to increase crop production stability against climatic variability commonly observed in the State of Paraná, not only by improving soil quality and soil cover, but also by making possible the diversification of cultivars and sowing times. The use of different plant species for grain and/or forage production allows diversification of farm incomes, which can reduce climatic and market risks related to agricultural production. Therefore, it is possible to assert that crop rotation is a long-term investment with guaranteed economic and environmental return.

Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná

Julio Cesar Franchini

Joaquim Mariano da Costa

Henrique Debiasi

Eleno Torres

A rotação de culturas, juntamente com a cobertura permanente e o mínimo revolvimento do solo, compõe os princípios básicos do sistema plantio direto (SPD). A ausência dessa prática acarreta o surgimento de alterações de ordem química, física e biológica no solo, que podem comprometer a estabilidade do sistema produtivo. Dentre as alterações observadas se destacam: a diminuição do teor de matéria orgânica do solo (MOS); a degradação da estrutura do solo; a intensificação dos processos erosivos; a redução da atividade e diversidade biológica; o aumento da incidência e severidade de pragas e doenças; e aumento da infestação de plantas daninhas. O conjunto desses problemas se reflete na instabilidade da produtividade das culturas e no aumento dos custos de produção face à ocorrência de estresses bióticos e abióticos.

O aumento da diversidade biológica contribui para a estabilidade da produção devido à ciclagem de nutrientes, à fixação biológica de N, à diversificação da flora de plantas daninhas, à redução na ocorrência de doenças, ao aumento da cobertura do solo e ao trabalho realizado pelo sistema radicular das espécies, reduzindo o grau de compactação do solo em sistemas intensivos. Esse trabalho apresenta resultados de pesquisa obtidos em estudos conduzidos em diversas regiões do Estado do Paraná e demonstra que, em longo

prazo, os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade física, química e biológica do solo, bem como sobre a dinâmica de pragas, doenças e plantas daninhas, resultam em aumentos na produtividade de todas as culturas econômicas envolvidas no sistema de produção. Além disso, a utilização de diferentes espécies vegetais para produção de grãos e/ou forragem permite a diversificação da renda da propriedade, reduzindo os riscos de mercado e de clima inerentes à produção agropecuária.

O objetivo desta publicação é demonstrar os benefícios da rotação de culturas para a sustentabilidade da produção agrícola em diversas regiões do Estado do Paraná, de modo a contribuir para aumentar a adoção dessa prática pelos produtores, assim como auxiliar na concepção e planejamento de sistemas de rotação de culturas.

Conceito e princípios básicos

A **rotação de culturas** é definida como sendo a alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e na mesma estação do ano. A **sucessão de culturas** é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada uma cultivada em uma estação do ano. Um exemplo de sistema de rotação de culturas seria aveia preta + nabo/milho – aveia branca/soja – milho safrinha/soja – trigo/soja. Nesse sistema, ocorre a alternância de espécies dentro de uma mesma estação, de modo que, no inverno, cultiva-se 25% da área com aveia preta + nabo forrageiro, 25% com aveia branca para grão, 25% com milho safrinha e 25% com trigo, enquanto que, no verão, cultiva-se 75% da área com soja e 25% com milho. Por outro lado, os sistemas onde o trigo ou o milho safrinha são cultivados em 100% da área todos os anos no inverno e a soja em 100% da área todos os anos no verão, são caracterizados como sistemas de sucessão de culturas.

As culturas componentes de um sistema de rotação de culturas devem atender ao maior número possível dos seguintes princípios:

- 1) produzir quantidade suficiente de fitomassa da parte aérea e raízes visando ao aumento do teor de MOS e à formação de cobertura morta para controlar os processos erosivos, diminuir as oscilações de temperatura e reduzir as perdas de água por evaporação;
- 2) promover condições favoráveis de solo que diminuam a suscetibilidade das plantas aos danos de pragas e doenças e/ou contribuam para a formação de um ambiente supressor às mesmas;
- 3) apresentar exigências nutricionais e capacidade de aproveitamento de nutrientes diferenciadas (leguminosas e gramíneas, por exemplo);
- 4) apresentar suscetibilidade a pragas e doenças diferentes, evitando as espécies que sejam hospedeiras de pragas e doenças de importância econômica para as culturas principais;
- 5) permitir a diversificação de princípios ativos e mecanismos de ação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, visando evitar a seleção de espécies/biótipos tolerantes/resistentes;
- 6) reduzir o tempo em que a área permanece sem culturas vivas, contemplando a inclusão, em alguma fase, de culturas caracterizadas por alta produção de fitomassa e sistema radicular profundo, agressivo e abundante, visando melhorar a qualidade do solo;
- 7) resultar em renda direta pela produção de grãos, sementes ou forragem ou indireta através de efeitos positivos sobre as culturas subsequentes.

Esse conjunto de benefícios potenciais da rotação de culturas contribui para aumentar a produtividade das culturas e a estabilidade da produção face à ocorrência de estresses bióticos e abióticos, bem como para racionalizar a utilização de insumos.

Sistemas de sucessão e rotação de culturas utilizados no Estado do Paraná

De forma geral, o Estado do Paraná adota dois sistemas de produção, caracterizados como sistemas de sucessão de culturas, com o predomínio de soja no verão e de trigo no inverno para a metade sul e sudoeste (região subtropical) e de soja no verão e de milho safrinha no inverno nas regiões norte e oeste do Estado (região de transição climática). Essa divisão é determinada pelo zoneamento climático das culturas, que é baseado em fatores como a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração potencial, a capacidade de água disponível do solo e a probabilidade de ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva das culturas de inverno. Apesar do predomínio desses dois sistemas, nos últimos anos, os sistemas de produção de grãos no Paraná têm apresentado, em média, 78% de soja, 16% de milho e 6% de feijão no verão, e 21% de trigo e 24% de milho safrinha no inverno. O restante da área de inverno é ocupada por aveia para cobertura (25%), pousio e outras plantas de cobertura (25%), e outras culturas de inverno, como cevada, triticale, canola e girassol (5%) (Deral, 2010).

Nesse contexto, diversas instituições de pesquisa e universidades, incluindo a Embrapa, têm desenvolvido um trabalho contínuo de adaptação e aprimoramento de sistemas de rotação de culturas para o Estado do Paraná. A partir desses trabalhos, foram concebidos e validados sistemas de rotação de culturas de forma regionalizada, de acordo com as diferentes condições edafoclimáticas do Estado. A presente publicação baseia-se nos resultados de pesquisa obtidos em estudos de longo prazo realizados nas regiões de Campo Mourão e Londrina. Alguns exemplos de sistemas de rotação de culturas são apresentados na Tabela 1. Os sistemas são constituídos por opções de rotação tanto para a região subtropical quanto de transição climática. Os tratamentos 10 e 11 constituem os sistemas de sucessão de soja com trigo e de soja com milho safrinha, que são considerados como os sistemas de referência para as respectivas regiões. Resultados de outros estudos relacionados à rotação de culturas também são utilizados nesse trabalho.

Tabela 1. Sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados na Fazenda Experimental da Cooperativa Agroindustrial Coamo, em Campo Mourão/PR. Embrapa Soja/Coamo, 2011.

	Ciclo									
	2001		2002		2003		2004			
	2005		2006		2007		2008			
	2009		2010		2011		2012			
	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
1	Nabo	Milho	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		
2	Nabo	Milho	Trigo	Soja (p)	Milho S	Soja	Trigo	Soja		
3	Aveia	Milho	Milho S-MT	Soja (p)	Milho S	Soja	Trigo	Soja		
4	Tremoço	Milho	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		
5	Ervilhaca	Milho	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		
6	Milho S	M + G	Trigo	Soja	Aveia G	Soja	Trigo	Soja (p)		
7	Ervilha F	Milho	Tremoço	Milho	Milho S	Soja	Trigo	Soja		
8	Av+Nabo	Soja (p)	Milho S	Soja	Trigo	Soja (p)	Milho S	Soja		
9	Trigo	Milho	Milho S-Mt	Soja (p)	Milho S	Soja	Trigo	Soja		
10	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja		
11	Milho S	Milho	Milho S	Soja (p)	Milho S	Soja (p)	Milho S	Soja (p)		

I = Inverno; V = verão; Milho S = Milho Safrinha; M + G = Consórcio Milho + Guandu;

Aveia G = Aveia branca para grãos; Milho S-Mt = Sucessão milho safrinha-milheto (milheto semeado até início de setembro); Soja (p) = Soja precoce semeada no final de outubro; Ervilha F = Ervilha forrageira; Av + Nabo = Consórcio Aveia + Nabo semeados ao mesmo tempo.

Efeito da rotação de culturas sobre a qualidade do solo

Qualidade física do solo

A qualidade física do solo é um dos principais fatores que determinam a produtividade das culturas, tendo em vista a influência que exerce diretamente sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas e, indiretamente, sobre os demais atributos do solo (químicos e biológicos). A compactação tem sido amplamente reconhecida como a principal causa de degradação da qualidade física do solo, resultando em incrementos na sua densidade e resistência mecânica, bem como em reduções na porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica. Essas modificações limitam o crescimento radicular das plantas e, ao mesmo tempo, diminuem a disponibilidade de água e oxigênio no solo, resultando na redução da produtividade das culturas, especialmente sob condições de excesso ou deficiência hídrica (Torres & Saraiva, 1999).

No SPD, tem sido observada a formação de uma camada de solo com maior grau de compactação a 0,1-0,2 m de profundidade, que pode ser restritiva ao desenvolvimento das plantas (Franchini et al., 2009). A rotação de culturas pode contribuir para melhorar a qualidade física do solo no SPD, como se observa na Figura 1. Na camada de 0,0-0,1 m, a densidade do solo foi menor na rotação do que na sucessão de culturas em seis das nove amostragens. Os efeitos benéficos da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo foram ainda mais evidentes na camada de 0,1-0,2 m onde, das nove amostragens, em oito a densidade do solo foi mais elevada na sucessão trigo/soja.

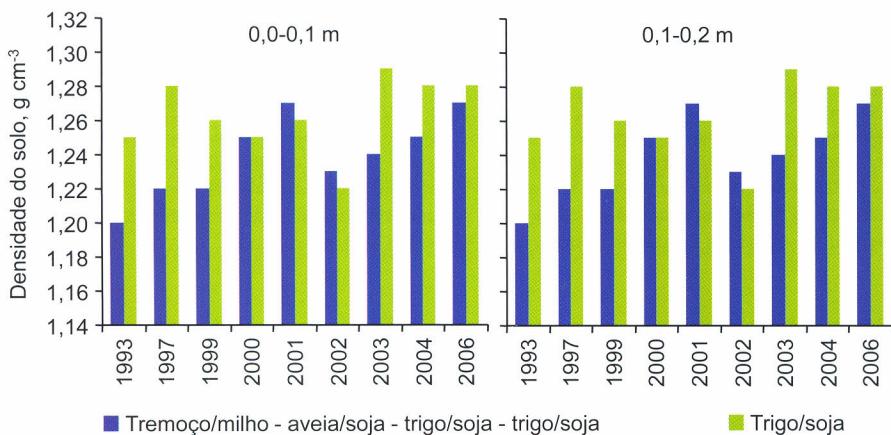


Figura 1. Densidade de um Latossolo Vermelho distroférico manejado sob SPD, em função do sistema de culturas, da época e da profundidade de amostragem. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

A importância da rotação de culturas para a manutenção do grau de compactação do solo no SPD dentro de limites aceitáveis também pode ser avaliada por meio da resistência do solo à penetração (RP) (Figura 2a). Após 22 anos de SPD, a RP na camada de 0,0-0,2 m foi maior na sucessão comparativamente à rotação de culturas. No caso da sucessão de culturas, a RP na camada de 0,1-0,2 m atingiu valores na faixa de 6 a 7 MPa, que são considerados elevados o suficiente para restringir o crescimento radicular da soja (Torres &

Saraiva, 1999). Nessa condição, o acesso ao reservatório de água pelas raízes da soja é diminuído, tornando-a mais vulnerável a perdas de produtividade em função de períodos de seca.

Métodos mecânicos de descompactação do solo, como a escarificação, também têm sido indicados para melhorar a qualidade física do solo no SPD. Ao contrário de medidas biológicas, como a rotação de culturas, a escarificação é capaz de romper camadas compactadas logo após sua execução. No entanto, os dados da Figura 2 apontam que a escarificação esporádica do solo no SPD, sob o ponto de vista da preservação e/ou melhoria da qualidade física do solo, não elimina a necessidade da rotação de culturas. Nesse sentido, a RP no SPD escarificado a cada três anos foi maior na sucessão comparativamente à rotação de culturas (Figura 2b), superando, no caso da sucessão, o valor considerado por Torres & Saraiva (1999) como sendo crítico ao desenvolvimento radicular na soja.

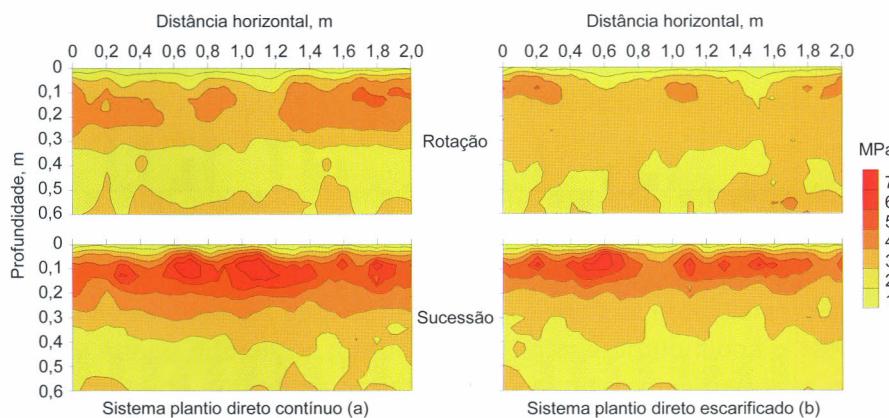


Figura 2. Perfis de resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférreico manejado durante 22 anos sob SPD contínuo (a) ou SPD escarificado a cada três safras (b), em função da rotação (tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja) e da sucessão de culturas (trigo/soja). Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Da mesma forma, os valores de RP no SPD contínuo sob rotação foram inferiores aos observados para o SPD escarificado a cada três anos

e manejado sob sucessão de culturas (Figura 2). Como a RP no SPD contínuo não atinge níveis considerados críticos ao desenvolvimento radicular das culturas quando se utiliza a rotação de culturas (Figura 2a), pode-se inferir que a escarificação, como prática a ser adotada sistematicamente, é desnecessária quando o SPD é manejado de acordo com os seus princípios básicos (mínimo revolvimento, cobertura permanente do solo e rotação de culturas).

A escarificação nem sempre resulta em benefícios ao desenvolvimento das culturas. Conforme a Figura 3, a escarificação periódica do SPD a cada três anos, associada à rotação de culturas, aumentou significativamente a produtividade da soja em relação ao SPD contínuo em apenas uma das 21 safras avaliadas. Por outro lado, a escarificação periódica, quando associada à sucessão de culturas, pode reduzir a produtividade da soja em até 600 kg ha⁻¹. Isso evidencia que, em termos de aumento de produtividade, a resposta da soja à escarificação foi pequena e ocorreu somente na presença de rotação de culturas.

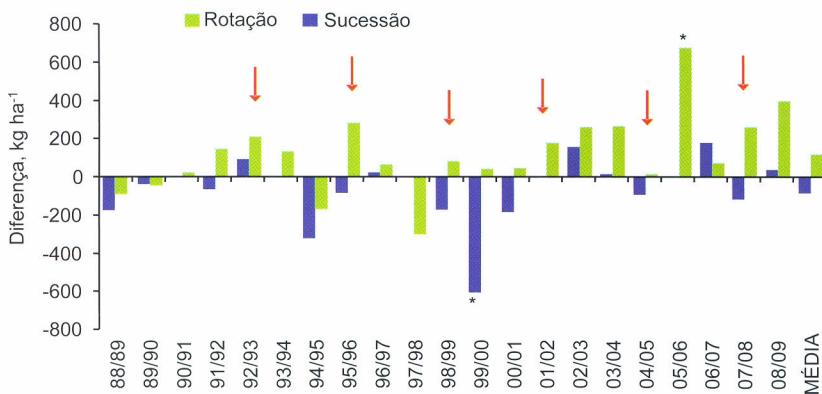


Figura 3. Diferença de produtividade da soja entre o SPD e o SPD escarificado a cada três anos nas safras de 1988/89 a 2008/09, em função do sistema de culturas utilizado (rotação ou sucessão). Embrapa Soja, Londrina/PR, 2009. O asterisco (*) indica a existência de diferenças estatisticamente significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$) entre a produtividade da soja no SPD e no SPD escarificado, dentro de um mesmo sistema de culturas. Valores negativos indicam produtividade menor no SPD escarificado em relação ao SPD contínuo. Valores positivos indicam o contrário. As setas vermelhas indicam os anos em que a escarificação foi realizada, sempre antes da implantação da cultura de inverno.

Qualidade química do solo

A utilização de sistemas de rotação de culturas traz uma série de benefícios para a qualidade química do solo. Em primeiro lugar, a rotação de culturas possibilita um aumento nas adições de fitomassa (parte aérea e raízes) ao solo o que, em conjunto com a adoção do SPD, resulta no incremento dos teores de MOS. Os efeitos benéficos da MOS sobre a qualidade do solo e, consequentemente, sobre a produtividade das culturas, são bem documentados (Bayer & Mielniczuk, 1999), e envolvem: melhoria da estrutura do solo, principalmente por meio da formação e estabilização de agregados; fornecimento de nutrientes para as culturas; aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, como o P; aumento da capacidade de troca de cátions do solo (CTC); complexação de elementos tóxicos às culturas, como o alumínio; e aumento da biomassa e atividade biológica do solo. Também é importante destacar a importância do N para o aumento dos estoques de MOS no solo (Franchini et al., 2007; Boddey et al., 2010). Isso ocorre porque o N desempenha papel fundamental para o aumento das adições de fitomassa ao solo, principalmente quando se trata de espécies gramíneas. Do ponto de vista energético e ambiental, a melhor forma de aportar N aos sistemas produtivos é através da introdução de leguminosas nos sistemas de rotação de culturas.

Um dos mais importantes efeitos benéficos associados à adoção da rotação de culturas envolve a reciclagem de nutrientes. Desta forma, o adequado planejamento da rotação de culturas permite a utilização de espécies vegetais caracterizadas por sistemas radiculares capazes de atingir diferentes profundidades, o que proporciona o aproveitamento de nutrientes armazenados em diferentes camadas no perfil do solo. A rotação de culturas possibilita ainda a combinação e/ou alternância de plantas com diferentes exigências nutricionais e habilidades na absorção de nutrientes. Assim, nutrientes que não são absorvidos por uma determinada planta, seja por sua localização em camadas abaixo da zona de ação do sistema radicular, seja pela baixa eficiência de absorção, podem ser aproveitados por outras espécies vegetais e, a partir da decomposição da palhada, tornarem-se disponíveis (Borkert et al., 2003).

A rotação de culturas também influencia a eficiência de extração e utilização dos nutrientes aplicados na forma de fertilizantes (Tabela 2). A eficiência de extração do P aplicado por meio de fertilização química, em área manejada sob SPD há 22 anos, é maior na rotação comparativamente à sucessão de culturas. Embora a rotação tenha proporcionado um pequeno aumento na eficiência de extração de P pela soja e pelo trigo, principalmente em função da maior produtividade dessas culturas, o grande responsável pela maior eficiência da rotação foi a inclusão, nesse sistema, da cultura do milho. Cabe salientar que o aumento da eficiência de extração dos nutrientes é fundamental para a racionalização da utilização de fertilizantes, o que resulta em benefícios econômicos e ambientais.

Tabela 2. Produtividade, quantidade de P extraído e eficiência de extração de P, por cultura e por sistema de culturas, em área manejada sob SPD há 22 anos. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Sistema	Culturas	Produtividade	Extração	Eficiência	Eficiência do
		de grãos ³	de P ₂ O ₅ ⁴	da cultura ⁵	sistema ⁶
		kg ha ⁻¹			%
Sucessão ¹	Soja	3171	32	67	50
	Trigo	2325	14	33	
Rotação ²	Soja	3243	32	71	67
	Trigo	2507	18	36	
	Milho	6040	40	95	

¹ Sucessão = trigo/soja contínuo; ² Rotação = tremoço/milho - aveia/soja - trigo/soja - trigo/soja; ³ Produtividade média nas safras entre 1988/1989 e 2009/2010; ⁴ Extração considerando teores médios de 10,0; 7,30 e 6,88 kg de P₂O₅ por 1000 kg de grãos, para soja, trigo e milho, respectivamente; ⁵ Eficiência da cultura = relação entre P no fertilizante aplicado e o extraído pelos grãos; ⁶ Eficiência do sistema = corresponde à média da eficiência de extração das culturas que compõem cada sistema (sucessão ou rotação).

Qualidade biológica do solo

A importância dos micro-organismos do solo se justifica em razão das diversas funções exercidas pelos mesmos, as quais englobam a ciclagem e reciclagem de nutrientes, a decomposição de materiais orgânicos e sua incorporação às frações orgânicas presentes no solo, a formação e estabilização de agregados de solo, o controle biológico e a fixação de N, entre outras. Tais funções são fundamentais para a qualidade do

solo e, assim, para sustentabilidade dos agroecossistemas. Correlações positivas e significativas entre indicadores microbiológicos, como o C e o N da biomassa microbiana, e a produtividade das culturas, tem sido observadas frequentemente (Cattelan et al., 1997b; Hungria et al., 2009; Silva et al., 2010).

O SPD exerce efeitos positivos sobre a comunidade microbiana do solo quando comparado ao preparo convencional (SPC), resultando em maiores valores de C e N da biomassa microbiana (Cattelan et al. 1997a; Franchini et al., 2007; Silva et al., 2010), de respiração basal (Hungria et al., 2009) e de diversidade genética (Pereira et al., 2007), bem como em menores valores de coeficiente metabólico (Franchini et al., 2007). A resposta positiva dos micro-organismos ao SPD está associada ao baixo grau de revolvimento, à maior cobertura do solo, à diminuição da taxa de mineralização dos compostos orgânicos e aumento no teor de MOS, à melhoria das condições físicas e químicas do solo, ao aumento do conteúdo de água do solo e à redução na ocorrência de temperaturas extremas.

Parâmetros microbiológicos são utilizados como indicadores de qualidade do solo devido a sua extrema sensibilidade à variabilidade sazonal das condições biológicas do solo associadas à combinação de diversas espécies de plantas, que resultam em adições de fitomassa que se diferenciam em termos quantitativos e qualitativos (Franchini et al., 2007; Silva et al., 2010).

A diversificação de espécies na rotação de culturas também aumenta a diversidade da comunidade microbiana (Pereira et al., 2007). A monocultura tende a selecionar determinadas espécies de micro-organismos em detrimento de outras, o que é indesejável para a sustentabilidade dos sistemas de produção. A falta de diversidade biológica pode comprometer a capacidade do solo de reagir a estresses bióticos e abióticos, com o comprometimento de suas funções (Zilli et al., 2003). Assim, em solos com elevada diversidade microbiana, se determinada condição biótica ou abiótica prejudicar determinado micro-organismo, é provável que a função exercida pelo mesmo seja desempenhada

por outro. Isso é fundamental para a manutenção de funções como a ciclagem de nutrientes, a agregação do solo e o controle de patógenos, mesmo sob condições desfavoráveis. Além disso, é importante considerar que a probabilidade de que haja algum organismo antagônico ao agente causal de determinada doença é maior em ambientes com alta diversidade biológica (Almeida & Seixas, 2010).

Sistemas de manejo do solo têm grande efeito sobre a fauna edáfica (Brown et al., 2008). A rotação de culturas pode beneficiar a macro, micro e mesofauna do solo, uma vez que a riqueza e a abundância dos organismos edáficos são determinadas, entre outros fatores, pela quantidade e qualidade da fitomassa aérea e radicular adicionada ao solo. A fauna invertebrada do solo exerce importante papel na ciclagem de nutrientes e na estrutura do solo, pois é responsável pela fragmentação dos resíduos orgânicos, mistura das partículas minerais e orgânicas, redistribuição da matéria orgânica e abertura de bioporos.

Desempenho das principais culturas de grãos em sistemas de rotação de culturas

Soja

A soja apresenta respostas positivas à rotação de culturas, particularmente quando cultivada no verão subsequente ao cultivo de milho de verão (Figura 4). Considerando a produtividade média da soja no sistema de rotação com milho em relação à observada na sucessão com trigo, o ganho acumulado na produtividade da oleaginosa corresponde a 17%.

Os efeitos positivos da rotação de culturas sobre a produtividade da soja podem ser atribuídos à recuperação da qualidade do solo devido a maior produção de fitomassa da parte aérea e raízes pelas culturas da aveia e do milho, e ao fornecimento adicional de N ao sistema pela leguminosa antecedendo ao milho. Em termos práticos, esses resultados indicam que, para as condições do norte do Paraná, seria

interessante que o produtor destinasse, no mínimo, 25% da área agrícola para o cultivo de milho no verão.

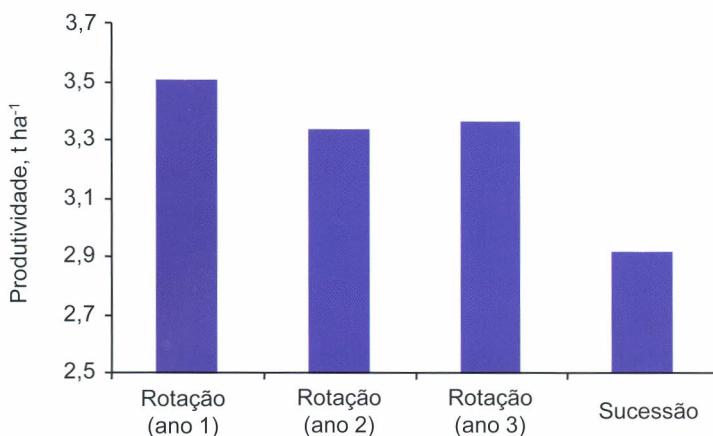


Figura 4. Produtividade média da soja (safras 1991/92 a 2008/09) em função do tempo após o cultivo do milho de verão, no sistema de rotação tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja e no sistema de sucessão trigo/soja. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010. A produtividade refere-se à média de cinco safras para as condições ano 1 e ano 2 após o milho, quatro safras para a condição ano 3 após o milho de verão e 21 safras para a sucessão trigo/soja.

A rotação de culturas é ainda mais importante durante a fase crítica inicial do SPD, que corresponde aos primeiros anos de adoção do sistema. Conforme Franchini et al. (2008), durante a fase inicial do SPD, a produtividade da soja pode até ser inferior no SPD em relação SPC. Isso ocorre porque há necessidade de um determinado período de tempo para que as melhorias na qualidade do solo proporcionadas pelo SPD se manifestem. Os autores explicam que o acúmulo de MOS é um dos fatores determinantes da duração da fase crítica do SPD. A utilização da rotação de culturas, ao aumentar a quantidade de material orgânico produzido, acelera o acúmulo de MOS e, assim, a melhoria na qualidade do solo. De acordo com Franchini et al. (2008), a duração da fase crítica do SPD foi de três anos para a sucessão trigo/soja, enquanto que, para a rotação de culturas, a fase crítica se restringiu ao primeiro ano.

A produtividade da soja também é influenciada pela espécie vegetal de inverno que a antecede. Na Figura 5, verifica-se que a produtividade da soja implantada em sequência à aveia preta foi aproximadamente 13% e 19% superior à semeada após o trigo e o pousio, respectivamente. Esses resultados permitem afirmar que a soja responde de forma positiva à utilização da aveia preta como cultura de inverno.

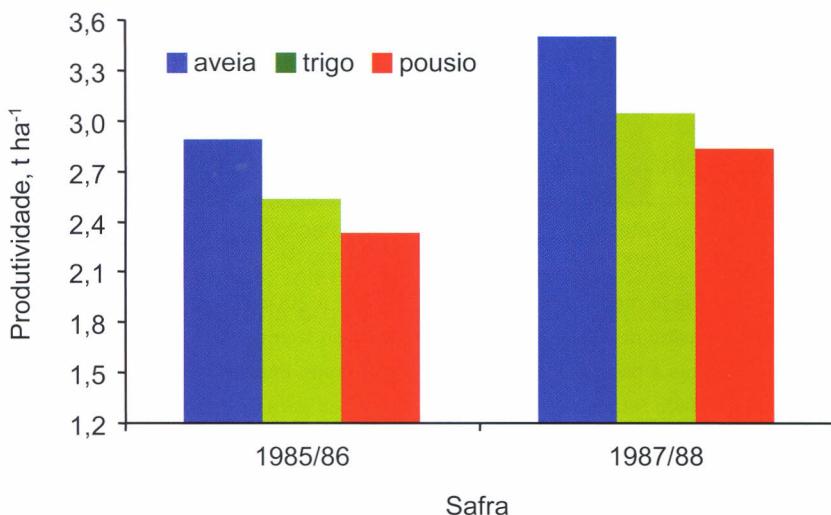


Figura 5. Produtividade da soja no SPD em duas safras agrícolas, em função da cultura de inverno antecessora. Embrapa Soja, Londrina/PR, 1989. Adaptado de Torres et al. (1996).

A rotação de culturas favorece o uso de cultivares de soja com ciclos diferentes. Por exemplo, para o cultivo de milho safrinha, normalmente se utiliza uma cultivar de soja de ciclo precoce, semeada entre o final de setembro e meados de outubro, para permitir a semeadura do milho em meados de fevereiro. Isso reduz o risco de perdas de produtividade por seca e pela ocorrência de baixas temperaturas nas fases reprodutivas do milho. Quando se pretende semear o trigo no inverno, a implantação da soja pode ser realizada até meados de novembro com uma cultivar de ciclo semiprecoce, já que o trigo é semeado em meados de abril.

A diversificação de cultivares em função do ciclo, associada ao escalonamento da época de semeadura, são práticas importantes para a redução de riscos climáticos, particularmente em anos de La Niña. Sob condições de La Niña, aumenta a probabilidade de ocorrência de períodos de longa duração sem chuvas durante as fases críticas da soja (florescimento e enchimento de grãos). Com o escalonamento da época de semeadura e o uso de cultivares com ciclos diferentes, os riscos de perda de produtividade associados aos períodos de deficiência hídrica nas fases reprodutivas da cultura são minimizados.

O efeito do ciclo das cultivares, da época de semeadura e das culturas de inverno sobre a produtividade da soja pode ser observado nos resultados obtidos em sistemas de rotação de culturas em Campo Mourão/PR (Figura 6).

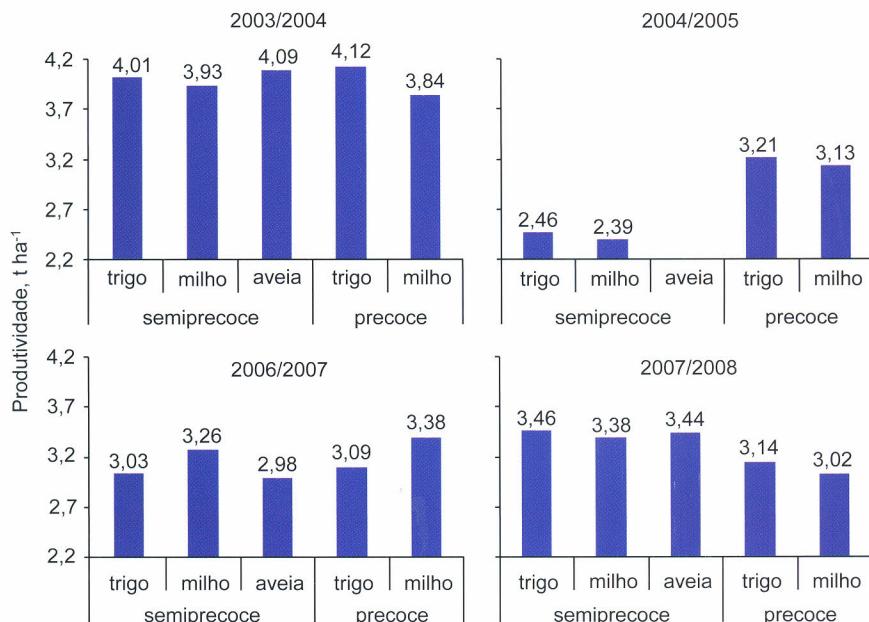


Figura 6. Produtividade de cultivares de soja de diferentes ciclos em sistemas de rotação de culturas. Semiprecoce: ciclo aproximado de 125 dias; precoce: ciclo aproximado de 118 dias. De acordo com o sistema de rotação de culturas, a soja pode ser cultivada após trigo, milho ou aveia no inverno. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2008.

Os resultados da safra 2003/2004 indicam o potencial produtivo máximo da soja para a região de Campo Mourão, em um ano caracterizado pela boa distribuição de chuvas durante todo o ciclo das cultivares utilizadas (Figura 6). Nessa safra, a produtividade da soja atingiu valores em torno de 4 t ha⁻¹. Ambas as cultivares, precoce e semiprecoce, apresentaram comportamento semelhante, com pequenos acréscimos de produtividade quando cultivadas após trigo e aveia em relação ao milho safrinha.

A safra 2004/2005, por outro lado, caracteriza um ano com ocorrência de deficiência hídrica durante as fases reprodutivas para a cultivar de ciclo semiprecoce. Diante disso, a produtividade de grãos dessa cultivar foi, em média, 750 kg ha⁻¹ inferior à precoce. Cabe destacar que a cultivar de ciclo precoce também foi parcialmente afetada, já que o potencial máximo de produtividade, obtido na safra 2003/2004, não foi atingido. Nesta safra, a produtividade da soja foi pouco influenciada pelas culturas de inverno.

A safra 2006/2007 ilustra uma condição intermediária em termos de disponibilidade de água à cultura, com a ocorrência de deficiências hídricas moderadas em épocas críticas para ambas as cultivares, uma vez que a produtividade foi similar entre elas e inferior ao potencial máximo exibido na safra 2003/2004. Na safra 2006/2007, a maior produtividade de grãos, independente do ciclo da cultivar utilizada, ocorreu para a soja cultivada após o milho safrinha.

Finalmente, a safra 2007/2008 representou uma situação inversa a 2004/2005, com a ocorrência de deficiência hídrica durante as fases reprodutivas para a cultivar de ciclo precoce. Com isso, a produtividade foi substancialmente reduzida, atingindo um valor cerca de 350 kg ha⁻¹ inferior à cultivar semiprecoce.

Com a necessidade de escalaronar a época de semeadura e o ciclo das cultivares para que os riscos climáticos sejam diluídos dentro da propriedade, passa a ser importante também o planejamento dos sistemas de rotação para que pelo menos duas espécies de plantas diferentes sejam cultivadas no inverno.

Os dados apresentados também permitem observar que, apesar dos benefícios da aveia preta antecedendo à soja (Figura 5), é possível utilizar outras espécies de inverno, como o trigo e o milho safrinha, sem prejuízo à produtividade da soja, desde que se obedeça a um planejamento que leve em consideração a alternância entre essas opções.

Ainda com relação à escolha da cultivar de soja visando à estabilidade da produção ao longo do tempo, resultados de pesquisa indicam que o desenvolvimento radicular pode variar significativamente em função do ciclo da cultivar. Na Figura 7, observa-se a distribuição do sistema radicular das duas cultivares (precoce e semiprecoce) utilizadas nos sistemas de rotação em Campo Mourão/PR, na safra 2009/2010. A cultivar precoce apresentou menor área radicular nas camadas superficial (0-25 cm) e mais profunda do solo (75-100 cm), em relação à cultivar semiprecoce.

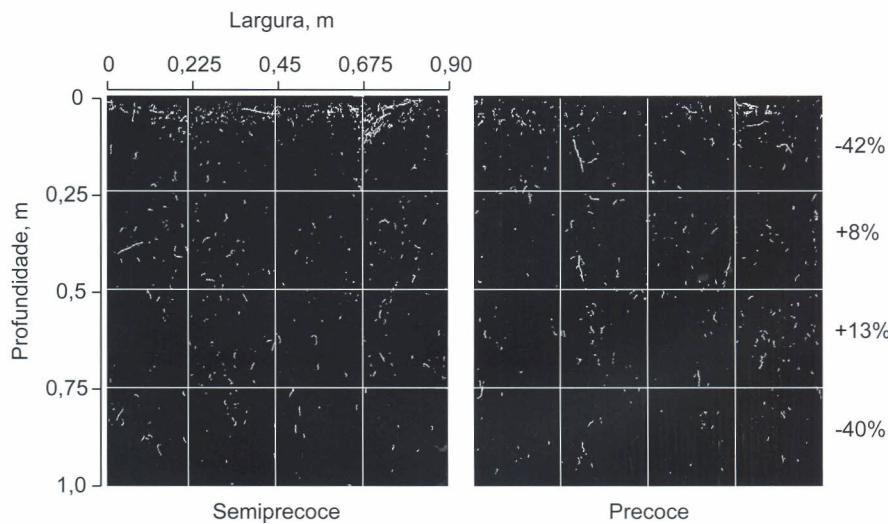


Figura 7. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja em função do ciclo da cultivar. Cada quadrícula na figura representa uma área de 0,225 m de largura X 0,25 m de profundidade. O perfil total representa 0,9 m de largura por 1,0 m de profundidade. O percentual indica a redução (-) ou aumento (+) na área radicular da soja precoce em relação à soja semiprecoce nas diferentes profundidades. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

O desenvolvimento radicular da soja normalmente ocorre até o início da fase reprodutiva. A cultivar precoce, por ter um ciclo mais curto, atinge a fase reprodutiva mais rapidamente do que a cultivar semiprecoce, tendo, portanto, um intervalo de tempo menor para o desenvolvimento de raízes. Essa diferença entre as cultivares pode influenciar a produtividade sob condições de estresse hídrico, principalmente pela menor quantidade de raízes em camadas mais profundas do solo, o que torna o reservatório de água para as cultivares de ciclo precoce menor.

Milho (1^a safra)

O milho é importante para compor os sistemas de rotação de culturas, tanto no cultivo de verão, quanto no de segunda safra. No caso do milho de verão, os resultados de pesquisa obtidos em Campo Mourão/PR comprovam que a cultura responde de modo significativo às espécies vegetais de outono-inverno que o antecederem (Figura 8).

Fotos: Julio Cezar Franchini/Embrapa Soja



Figura 8. Desenvolvimento da cultura do milho de verão sobre a palhada de diferentes culturas de inverno. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2009.

O milho apresenta melhor desenvolvimento inicial quando cultivado sobre a palhada de plantas de cobertura com capacidade de fixar N, como a ervilhaca, quando comparado à palhada de gramíneas. Entre as gramíneas, a aveia, por ser uma planta de cobertura com manejo no estádio de grão leitoso, quando a palhada ainda não se encontra totalmente lignificada, e apresentar menor imobilização de N durante sua decomposição, resultou em melhor desenvolvimento do milho do que o observado sobre a palhada de milho safrinha e trigo. As palhadas de milho safrinha e trigo, por representarem um resíduo vegetal pós-colheita dos grãos, apresentam grande imobilização de N, reduzindo assim o desenvolvimento inicial do milho.

O comportamento da cultura do milho durante as fases iniciais de desenvolvimento foi relacionado com a produtividade de grãos. Na Figura 9, observa-se que a produtividade do milho sobre as palhadas de ervilhaca e tremoço foi cerca de 1,1 t ha⁻¹ (10%) maior em relação aos piores tratamentos, representados pelas gramíneas utilizadas para a produção de grãos (trigo e o milho safrinha). O milho cultivado em sucessão à aveia apresentou um comportamento intermediário, com uma produtividade aproximadamente 400 kg ha⁻¹ inferior à proporcionada pelas leguminosas.

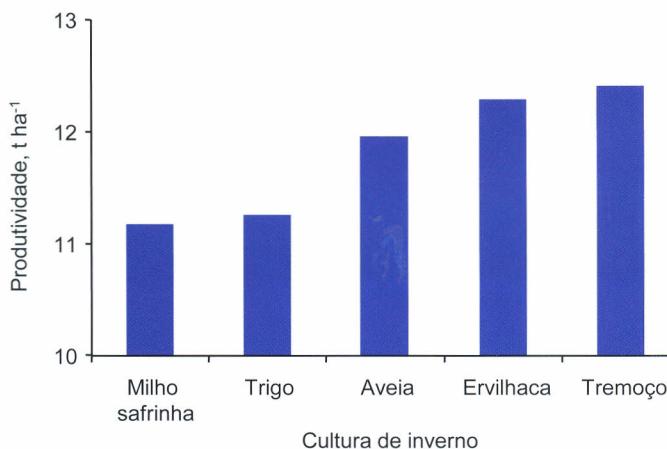


Figura 9. Produtividade do milho de verão sobre a palhada de diferentes culturas de inverno. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

A diferença na produtividade do milho sobre palhada de leguminosa em relação à palhada de culturas de grãos pode estar relacionada, em parte, à distribuição do sistema radicular do milho nas diferentes situações. Na Figura 10, pode-se observar a distribuição do sistema radicular do milho sobre a palhada de tremoço e sobre a palhada de milho safrinha. Sobre a palhada de milho safrinha, o sistema radicular do milho de verão ficou concentrado na linha de semeadura, onde foram aplicados os fertilizantes nitrogenados na base e em cobertura. Sobre a palhada de tremoço, o sistema radicular do milho ficou mais bem distribuído no perfil do solo. No perfil de distribuição das raízes do milho sobre palhada de milho safrinha, observa-se o percentual de redução na área radicular em relação à palhada de tremoço. A presença de uma maior quantidade de raízes nas entrelinhas indica melhor distribuição do N liberado pela palhada do tremoço, o que também contribuiu para aumentar o volume de solo explorado em busca de água e outros nutrientes pelo sistema radicular do milho.

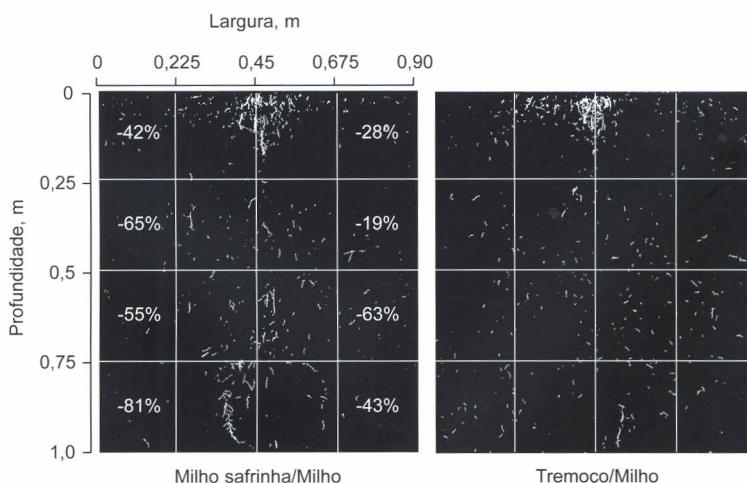


Figura 10. Distribuição do sistema radicular do milho de verão sobre a palhada de diferentes culturas de inverno. Cada quadrícula na figura representa uma área de 0,225 m de largura X 0,25 m de profundidade. O perfil total representa 0,9 m de largura por 1,0 m de profundidade. O percentual indica a redução (-), na quadricula indicada, da área radicular do milho de verão sobre a palhada de milho safrinha em relação à palhada de tremoço. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

Os efeitos da interação entre a cultura de inverno e a adubação nitrogenada em cobertura, sobre a produtividade do milho, foram avaliados na safra 2005/2006. Na Figura 11, são apresentados os dados referentes à variação na quantidade de N-NO₃ no solo durante o desenvolvimento da cultura do milho de verão, em função de diferentes coberturas de inverno e da adubação nitrogenada em cobertura. A palhada de leguminosas proporcionou uma maior quantidade de N-NO₃ no solo quando comparada com a palhada das gramíneas, mesmo após a aplicação do N em cobertura. O pico de N-NO₃ em meados de dezembro está associado à aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura na cultura do milho.

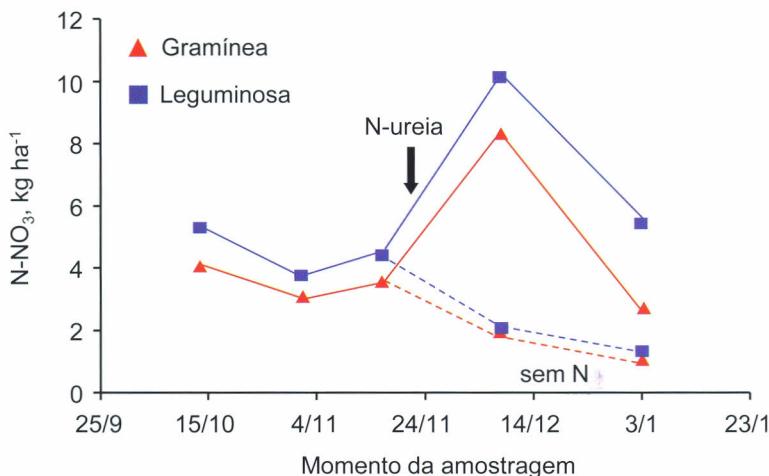


Figura 11. Quantidade de N-NO₃ no solo, na camada de 0-0,4 m de profundidade, durante o desenvolvimento da cultura do milho sobre palhada de gramíneas e leguminosas, com (linha contínua) e sem (linha tracejada) aplicação de N em cobertura. A aplicação de ureia (200 kg ha⁻¹) foi realizada ao lado da linha e incorporada a 0,05 m de profundidade em metade da parcela. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2005.

A quantidade de N-NO₃ no solo foi relacionada com o teor de N nas folhas do milho. Na Figura 12a, observa-se que o teor de N nas folhas de milho sobre palhada de leguminosas foi maior do que sobre a palhada de gramíneas. A aplicação da cobertura nitrogenada não foi suficiente para que o teor de N nas folhas de milho sobre palhada de gramíneas atingisse o teor observado nas folhas de milho sobre a palhada de legu-

minosas. Esse resultado indica que a eficiência de absorção/utilização do N aplicado na palhada de gramíneas é menor do que o aplicado na palhada de leguminosas.

A produtividade do milho, na mesma safra, foi menor sobre a palhada de gramíneas em relação à palhada de leguminosas, sem a aplicação de N em cobertura (Figura 12b). Essa tendência foi mantida mesmo com a aplicação de N em cobertura. É interessante ressaltar que a produtividade do milho sobre a palhada de gramíneas, mesmo com a aplicação de N, não ultrapassou a produtividade do milho sobre palhada de leguminosas sem a aplicação de N em cobertura. Isso indica que o N fornecido pela palhada das leguminosas foi equivalente ao N aplicado em cobertura ($90 \text{ kg de N ha}^{-1}$).

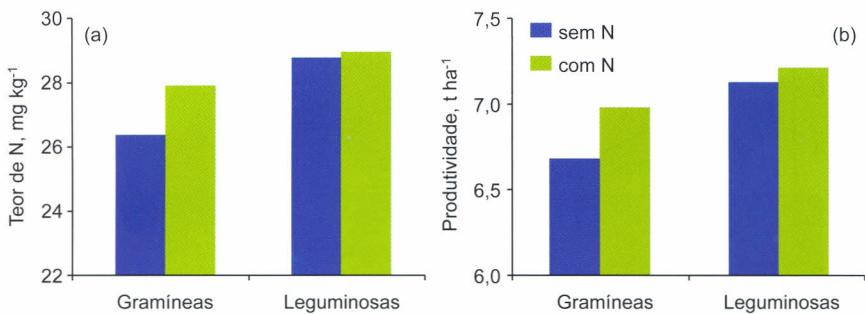


Figura 12. Teor de N nas folhas no estádio de florescimento (a) e produtividade de milho (b) cultivado sobre palhada de gramíneas e leguminosas, com e sem aplicação de N em cobertura. A aplicação de ureia (200 kg ha^{-1}) foi realizada ao lado da linha e incorporada a $0,05 \text{ m}$ de profundidade, em metade da parcela. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2005.

De acordo com os resultados apresentados, o planejamento do sistema de rotação de culturas deve ser feito de modo que, antecedendo ao milho de verão, sejam utilizadas de preferência espécies leguminosas ou gramíneas para a cobertura do solo, como a aveia, solteiras ou consorciadas. Isso aumenta a produtividade do milho e/ou racionaliza a quantidade de fertilizantes nitrogenados utilizados, com reflexos positivos sobre a redução dos custos de produção e a preservação ambiental. O cultivo de milho de

verão após o milho safrinha ou o trigo implica no aumento da necessidade de adubação nitrogenada ou redução de produtividade.

Milho safrinha

O milho safrinha é uma importante alternativa para intensificar o uso da terra e, assim, aumentar a renda do produtor rural. No entanto, é motivo de preocupação o fato de que muitos produtores têm adotado o sistema milho safrinha/soja de forma contínua, chegando o sistema a representar até 85% da área cultivada nos municípios da região oeste do Paraná (Siqueira & Casão Junior, 2006).

Os restos vegetais produzidos pelo milho safrinha, embora em quantidades próximas a 6 t ha^{-1} , não proporcionam uma cobertura satisfatória do solo. Tal constatação é ilustrada pela Figura 13, onde se observa que $5,9 \text{ t ha}^{-1}$ de restos vegetais de milho safrinha resultaram em uma cobertura do solo equivalente a 60%, enquanto que $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de palhada de trigo foi suficiente para cobrir 90% da superfície do solo. Esse fato, além de favorecer a ocorrência e intensificação da erosão hídrica, aumenta a temperatura do solo e as perdas de água por evaporação durante o ciclo da soja.

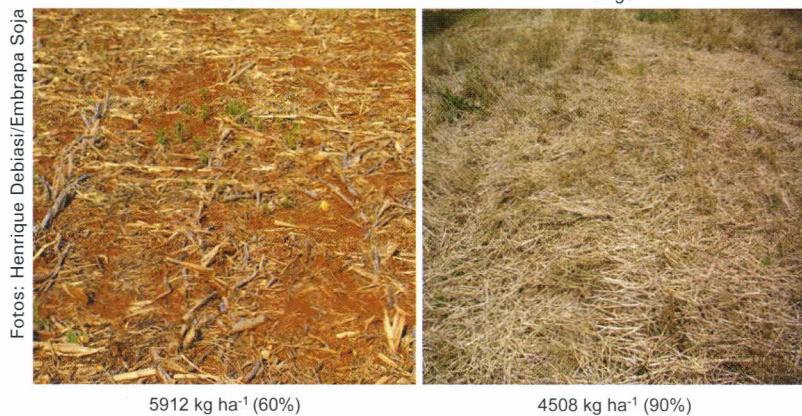


Figura 13. Produção de restos vegetais e porcentagem de cobertura do solo (entre parêntesis) proporcionada pelo milho safrinha e pelo trigo. Medição realizada sete dias antes da semeadura da soja. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2009.

Além disso, o cultivo do milho safrinha implica na realização da colheita da soja e da semeadura do milho durante os meses mais chuvosos do ano (janeiro-fevereiro) e, portanto, caracterizados por um elevado conteúdo de água no solo. Isso, em conjunto com a produção insuficiente de restos vegetais, tem resultado na formação de camadas compactadas de solo capazes de restringir o desenvolvimento radicular da soja e do próprio milho (Franchini et al., 2009). Para piorar a situação, muitas vezes os produtores utilizam a grade niveladora para eliminar plantas daninhas que se estabelecem durante a entressafra, bem como picar os restos de milho e, assim, facilitar a semeadura da soja em sequência. Embora aparentemente inofensiva, esta operação, além de diminuir a cobertura do solo, acelera o processo de mineralização da MOS, cujo maior acúmulo no SPD ocorre justamente na camada superficial mobilizada pela gradagem. Dessa forma, o uso contínuo da sucessão milho safrinha/soja tem sido associado ao aumento do risco de perdas de produtividade da soja e do milho em função da ocorrência de períodos de seca.

A sucessão milho safrinha/soja também tem contribuído para o aumento da infestação de algumas espécies de plantas daninhas, dentre as quais se destaca a buva (*Conyza spp.*). Trata-se de uma espécie que produz grande quantidade de sementes de fácil dispersão pela água e pelo vento, sendo capaz de reduzir a produtividade da soja em até 48% (Gazziero et al. 2010a). O controle químico da buva tem se tornado ainda mais difícil e caro devido ao surgimento de biótipos resistentes ao glifosato. O cultivo do milho safrinha também implica na manutenção da área sob pouso por um período de aproximadamente três meses (meados de julho a meados de outubro). Esse período coincide com o pico de germinação das sementes de buva, que ocorre em julho e agosto. Comparando áreas cultivadas com aveia e milho durante o outono-inverno, Gazziero et al. (2010b) encontraram que a cobertura morta proporcionada pela aveia resultou em plantas de buva com menor altura no momento da dessecação em pré-semeadura da soja, o que facilitou o controle químico dessa invasora. Assim,

após a colheita do milho safrinha, a ausência de cultura viva na área, associada à baixa cobertura do solo pelos restos de cultivo de milho, favorece a emergência e o estabelecimento da buva, aumentando os níveis de infestação e, consequentemente, os custos para seu controle. Portanto, o emprego de sistemas de rotação de culturas que envolvam espécies vegetais (solteiras ou em consórcio) capazes de prover cobertura viva e/ou morta do solo, particularmente durante os meses de pico de germinação e emergência de buva, constitui-se em uma prática efetiva para reduzir os níveis populacionais dessa planta daninha.

É importante levar em consideração que o cultivo contínuo do milho safrinha no outono-inverno, além de prejudicar o desempenho da soja, também pode exercer efeitos negativos sobre a produtividade do próprio milho. Na Figura 14, verifica-se que a redução da proporção da área ocupada por milho safrinha de 100% (cultivo contínuo) para 50% (uma safra a cada dois anos) resultou num aumento de 15% na produtividade média da cultura nas safras entre 2002 e 2010. Assim, a rotação de culturas no inverno foi favorável à produtividade do milho safrinha em relação ao seu cultivo contínuo.

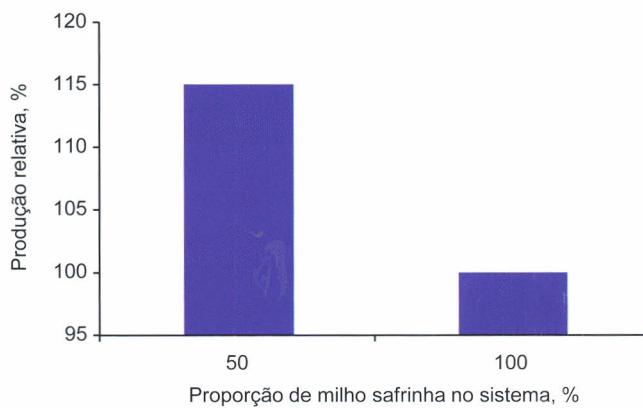


Figura 14. Produtividade relativa média de milho safrinha nas safras entre 2002 e 2010 em sistemas de culturas com proporção variável da cultura no inverno. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

A influência da rotação de culturas sobre a produtividade do milho safrinha também pode ser observada nos dados obtidos na safra 2010 (Figura 15). A produtividade de milho safrinha em 2010 foi aumentada em $2,74 \text{ t ha}^{-1}$ quando a cultura foi semeada após a sequência aveia + nabo forrageiro/soja, comparativamente à média das sequências trigo/milho de verão e milho safrinha/milho de verão. A maior produtividade do milho safrinha implantado após a soja em relação ao milho de verão indica que, no planejamento do sistema de rotação de culturas, o produtor deve evitar o cultivo de milho safrinha em sequência ao milho de verão.

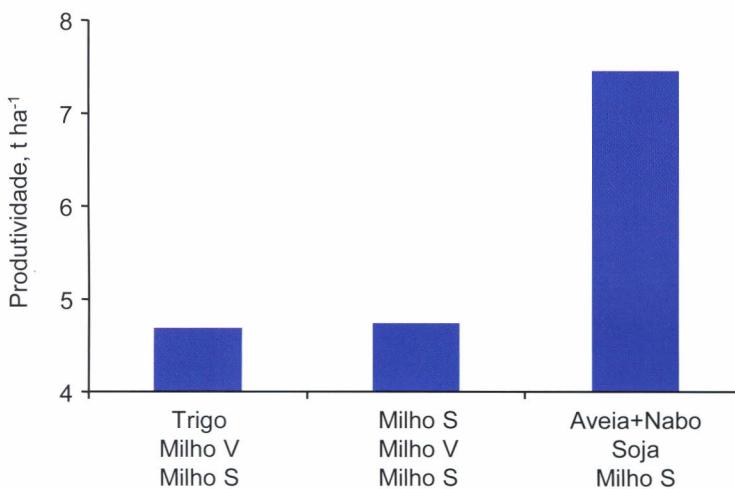


Figura 15. Produtividade de milho safrinha em diferentes sistemas de culturas. Milho V = milho verão; Milho S = milho safrinha. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

Trigo

O trigo tem se mostrado uma das culturas de grãos que mais respondem, em termos de aumento de produtividade e redução de custos, à rotação de culturas. A partir dos dados obtidos nas safras entre 2002 e 2010 em Campo Mourão/PR, foi possível determinar o efeito da rotação de culturas sobre a produtividade do trigo. A Figura 16 mostra que a produtividade média relativa do trigo aumentou quando a proporção de área ocupada pela cultura no inverno caiu de 100% (cultivo contínuo) para 25% (uma safra a cada 4 anos).

Os benefícios da rotação de culturas para o trigo podem ser atribuídos principalmente à diminuição da incidência e severidade de algumas doenças radiculares e da parte aérea da cultura [*Gaeumannomyces graminis* (mal-do-pé) e *Bipolaris sorokiniana* (podridão comum), *Drechslera tritici-repentis* (mancha amarela da folha), *Stagonospora nodorum* (mancha da folha) e *Bipolaris sorokiniana* (helmintosporiose)] (Santos & Reis, 2001).

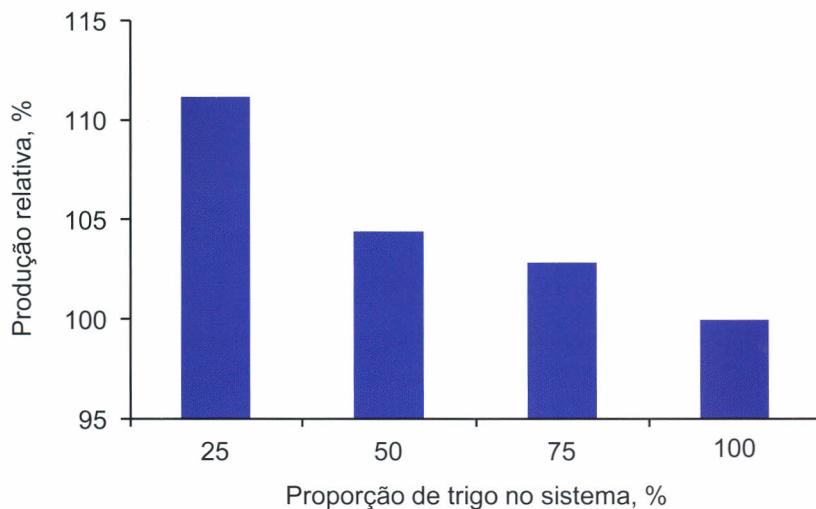


Figura 16. Produtividade relativa média de trigo nas safras entre 2002 e 2010 em sistemas de culturas com proporção variável da cultura no inverno. Embrapa Soja/Coamo, Campo Mourão/PR, 2010.

Na Figura 17, são apresentados os dados de produtividade do trigo em função do número de safras em que o trigo foi cultivado em sequência, em diferentes sistemas de culturas, em Londrina/PR. A produtividade do trigo foi diminuindo à medida que a cultura foi sendo repetida na área a cada inverno, até atingir o valor mínimo quando o trigo foi cultivado todos os anos no inverno (sucessão de culturas). É importante ressaltar que, mesmo para a segunda safra de trigo dentro de cada ciclo de rotação, a produtividade da cultura foi mais elevada em relação à sucessão trigo/soja. Diante dessas constatações, pode-se inferir que, em regiões caracterizadas por invernos menos rigorosos, como o norte

e oeste do Paraná, é possível a utilização de sistemas de rotação de culturas em que se cultive trigo por até dois invernos seguidos numa mesma área.

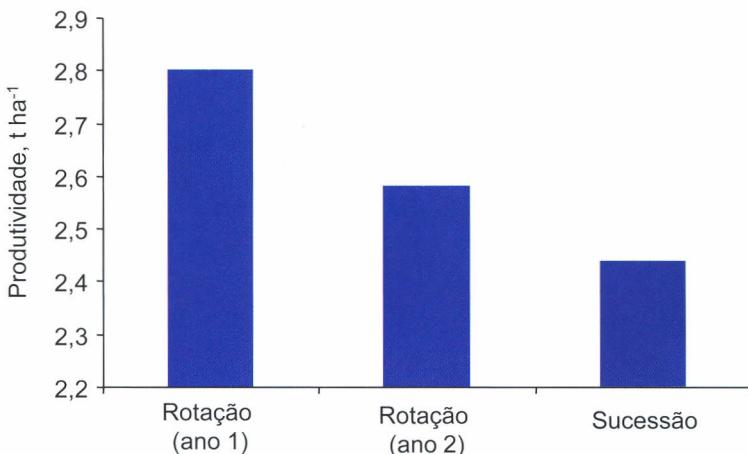


Figura 17. Produtividade média do trigo (1995 a 2008) na sucessão de culturas (trigo/soja) e no primeiro e segundo ano de cultivo em cada ciclo da rotação de culturas (tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja). A produtividade do trigo foi considerada em três situações: Rotação (Ano 1): Primeiro inverno após o cultivo da aveia, média de quatro safras; Rotação (Ano 2): Segundo inverno de trigo após a aveia, média de quatro safras; e Sucessão: trigo contínuo, média de 13 safras. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Utilização de forrageiras tropicais em sistemas de produção de soja

Em anos recentes, a inserção de forrageiras tropicais em sistemas de sucessão ou rotação com a soja tem se mostrado uma alternativa viável para conferir sustentabilidade à produção desta cultura. Em regiões onde as condições de clima e solo são favoráveis à produção de grãos, como o norte e o oeste do Paraná, as forrageiras tropicais têm sido cultivadas em sistemas de sucessão com a soja, permanecendo na área apenas durante a entressafra. Nessas regiões, o objetivo principal das forrageiras é aumentar a produção de palhada e recuperar a qualidade do solo, podendo ainda, eventualmente, serem utilizadas para pastejo. Embora outras espécies possam ser utilizadas para essa

finalidade, como algumas cultivares de *Brachiaria brizantha*, a forrageira mais utilizada tem sido a *Brachiaria ruziziensis*, devido principalmente a maior facilidade de dessecação e a menor formação de touceiras, o que facilita a semeadura da soja em sequência.

A utilização de braquiárias, tanto em cultivo solteiro, quanto consorciado com milho safrinha, aumenta a produtividade da soja, principalmente em anos caracterizados pela ocorrência de secas. Isso é comprovado pela Figura 18, onde são apresentados os dados de produtividade da soja implantada em sequência a diferentes culturas de outono-inverno, em Londrina/PR, nas safras 2007/08 e 2008/09. Em ambas as safras, a produtividade da soja nos tratamentos *B. brizantha* cv. "Xaraes" e *B. ruziziensis* foi cerca de 300 kg ha⁻¹ maior comparativamente ao milho safrinha solteiro e ao trigo.

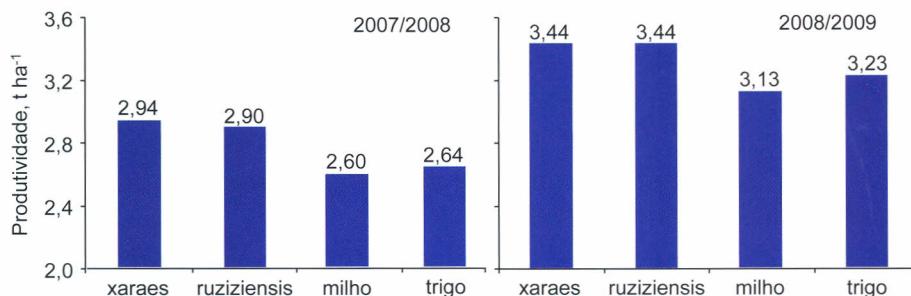


Figura 18. Produtividade da soja nas safras 2007/2008 e 2008/2009, em função de diferentes culturas de outono-inverno. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

O aumento de produtividade da soja em áreas ocupadas por forrageiras tropicais solteiras ou consorciadas ao milho no outono-inverno deve-se ao aumento da cobertura morta pelas espécies forrageiras (Tabela 3), o que, além de proteger o solo contra a erosão e dificultar o estabelecimento de plantas daninhas, diminui a temperatura do solo e as perdas de água por evaporação. Cabe salientar ainda que as forrageiras tropicais mantêm o solo sob cobertura viva na entressafra da soja durante um período mais longo do que o milho safrinha, o que é vantajoso em termos de conservação do solo e do controle de plantas daninhas.

Tabela 3. Produção de palhada por diferentes opções de culturas de outono-inverno. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2009.

	Milho	Braquiária
		t ha ⁻¹
Milho solteiro	5912	-
Milho + <i>Brachiaria ruziziensis</i>	4599	4080
Milho + <i>Brachiaria brizantha</i>	4181	3880
<i>B. ruziziensis</i> solteira	-	9610
<i>B. brizantha</i> solteira	-	11536

As forrageiras tropicais se destacam também pela capacidade em melhorar a qualidade física do solo, mesmo quando mantidas na área apenas durante o período de outono-inverno (Franchini et al., 2009). Como resultado da diminuição do grau de compactação do solo, a soja implantada sobre *B. ruziziensis* produziu 50% a mais de raízes em todas as camadas de solo, até 1 m de profundidade, quando comparada à soja cultivada sobre o milho safrinha (Franchini et al., 2009). O aumento do desenvolvimento radicular da soja em profundidade, associado a maior disponibilidade hídrica em função da cobertura e da melhor estrutura do solo, confere à soja maior resistência a períodos de estresse hídrico por deficiência.

Com relação ao consórcio do milho safrinha com forrageiras tropicais, o sistema que vem sendo mais utilizado quando o objetivo principal é recuperar o solo e aumentar a quantidade de palhada é aquele em que a espécie forrageira é implantada em uma linha localizada na entrelinha da cultura do milho. O efeito do consórcio sobre a produtividade do milho safrinha nos anos de 2007 a 2009, em trabalho conduzido em Londrina/PR, é mostrado na Figura 19. A consorciação com *B. ruziziensis* provocou reduções na produtividade do milho equivalentes a 6,7 e 6,9% nas safras 2007 e 2008, respectivamente. Nas duas safras, a diminuição da produtividade do milho quando consorciado à *B. brizantha* cv. "Xaraes" foi menor comparativamente à *B. ruziziensis*. Já na safra 2009, a produtividade do milho consorciado com *B. brizantha* cv. "Xaraes" e *B. ruziziensis* foi ligeiramente superior à do milho solteiro. Como os tratamen-

tos foram implantados durante os três anos sobre as mesmas áreas, esses resultados evidenciam que as melhorias na qualidade do solo em virtude do uso do consórcio proporcionaram ao milho um melhor desenvolvimento mesmo em competição com a forrageira.

Trabalhos de pesquisa realizados em outras regiões têm demonstrado que o impacto do consórcio com forrageiras tropicais sobre a produtividade do milho safrinha varia de + 2% até -20% (Ceccon, 2008). Isso ocorre porque a produtividade do milho safrinha quando consorciado a forrageiras tropicais depende da espécie forrageira, das características do híbrido de milho utilizado, das condições de clima e solo e da população de plantas empregada, tanto da forrageira quanto do milho. Desta forma, para o sucesso do consórcio, é importante minimizar a competição entre o milho e a forrageira. Caso isso não seja possível, sob condições que favoreçam o desenvolvimento da forrageira em detrimento do milho (híbrido de porte baixo e folhas eretas, alta população da forrageira, deficiência hídrica, entre outras), pode-se suprimir o desenvolvimento inicial da forrageira mediante o uso de herbicidas seletivos.

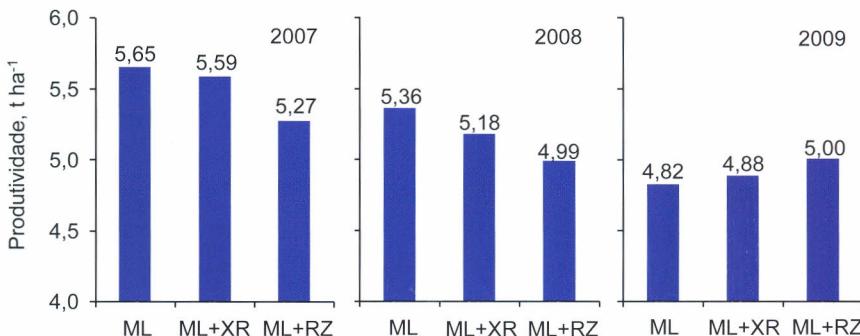


Figura 19. Produtividade do milho solteiro (ML) e consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. "Xaraes" (XR) e *Brachiaria ruziziensis* (RZ), durante três safras. Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Buscando aperfeiçoar a tecnologia do consórcio do milho safrinha com forrageiras tropicais, de modo a aliar a produção de uma adequada cobertura do solo a valores satisfatórios de produtividade

de milho, foram testadas, na safra 2009, duas configurações do consórcio (linha simples x linha dupla) e três diferentes opções de forrageiras (*B. brizantha* cv. "Piatã", *B. brizantha* cv. "Marandu" e *B. ruziziensis*). Na Figura 20, observa-se que o milho safrinha solteiro resultou numa baixa produção de massa seca para cobertura do solo, equivalente a cerca de 4,2 t ha⁻¹. O consórcio com forrageiras tropicais, utilizando-se uma linha na entrelinha do milho, foi capaz de aumentar a produção de massa seca, na média das três opções de braquiárias testadas, para aproximadamente 7,5 t ha⁻¹. Verifica-se ainda que o aumento do número de linhas de braquiária na entrelinha do milho, de uma para duas, aumentou a produção de massa seca em aproximadamente 1 e 2 t ha⁻¹ para os tratamentos milho + *B. brizantha* cv. "Piatã" e milho + *B. brizantha* cv. "Marandu", respectivamente. Para o consórcio milho + *B. ruziziensis*, a utilização de duas linhas de braquiária não aumentou a produção de massa seca para cobertura do solo em relação à configuração com uma linha.

Por outro lado, a utilização de duas linhas de braquiária resultou em uma perda de produtividade do milho consorciado de aproximadamente 35% em relação ao milho solteiro (Figura 21). Quando se utilizou uma linha de braquiária na entrelinha do milho, a perda de produtividade dessa cultura no consórcio foi menor, variando de 10% (*B. ruziziensis*) a 15% (*B. brizantha* cv. "Marandu"). Para o consórcio com uma linha de *B. brizantha* cv. "Piatã", a produtividade do milho foi similar ao cultivo solteiro. Na prática, os dados obtidos nesse trabalho comprovam que, para a região de transição climática do Paraná, e quando o objetivo do consórcio é a produção de palhada e a recuperação do solo, a melhor opção constitui-se na implantação de uma linha de forrageira na entrelinha do milho. Além disso, das opções de braquiárias testadas nesse trabalho, a *B. brizantha* cv. "Piatã" e a *B. ruziziensis* mostraram ser as forrageiras mais adequadas para o consórcio com o milho safrinha, tendo em vista que proporcionaram uma razoável produção de fitomassa para cobertura do solo sem comprometer a produtividade do milho.

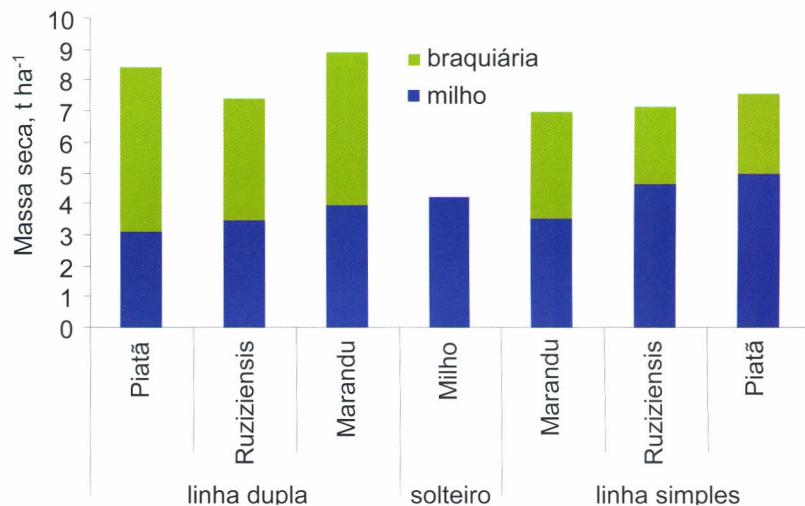


Figura 20. Produção de massa seca do milho safrinha solteiro ou em consórcio com *Brachiaria brizantha* cv. "Piatã", *B. brizantha* cv. "Marandu" e *B. ruziziensis*, sob diferentes configurações (linha simples e linha dupla). Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

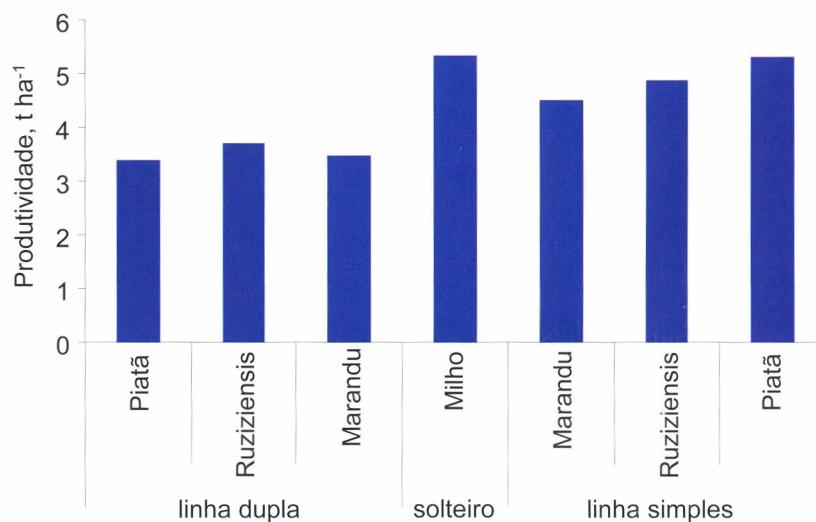


Figura 21. Produtividade do milho safrinha solteiro ou em consórcio com *Brachiaria brizantha* cv. "Piatã", *B. brizantha* cv. "Marandu" e *B. ruziziensis*, sob diferentes configurações (linha simples e linha dupla). Embrapa Soja, Londrina/PR, 2010.

Em regiões com maior aptidão para a produção pecuária, como o Noroeste do Paraná, a integração lavoura-pecuária (iLP) tem sido utilizada como forma de melhorar a qualidade das pastagens e reduzir os riscos climáticos associados ao cultivo de lavouras anuais, como a soja. Em Santo Inácio, desde 2003, a Universidade Estadual de Maringá vem desenvolvendo e monitorando na Estância JAE um sistema de iLP de leite. Em 2006, a Embrapa Soja tornou-se parceira do projeto e passou a monitorar o comportamento da soja no sistema.

Na Figura 22, observa-se o perfil radicular de duas espécies forrageiras cultivadas durante o inverno para a produção de leite, os quais foram avaliados em outubro de 2006, após o período de pastejo e antes da dessecação para a semeadura da soja. Nota-se que ambas as forrageiras apresentam grande capacidade para a produção de raízes até 1 m de profundidade. O *Panicum maximum* cv. "Tanzânia", no entanto, apresentou maior produção de raízes do que a *B. ruziziensis*, principalmente na camada superficial do solo (0-0,2 m). A produção de palhada, avaliada no mesmo momento, também foi maior para o *P. maximum* ($7,36 \text{ t ha}^{-1}$) em relação a *B. ruziziensis* ($5,75 \text{ t ha}^{-1}$).

Em meados de fevereiro de 2007, quando a soja semeada sobre as duas espécies forrageiras se encontrava no estádio R3, o perfil radicular desta cultura foi avaliado (Figura 23). A soja apresentou maior desenvolvimento radicular, nas camadas entre 0,0 e 0,75 m de profundidade, quando cultivada sobre a palhada de *B. ruziziensis*. Acompanhando o desenvolvimento radicular, a soja apresentou, nesse tratamento, produtividade de $3,42 \text{ t ha}^{-1}$, 21% maior do que a observada sobre a palhada de *P. maximum* cv. "Tanzânia" ($2,82 \text{ t ha}^{-1}$). Os resultados indicam que, apesar da maior produção de palhada e raízes proporcionada por *P. maximum*, a *B. ruziziensis* foi mais favorável ao desenvolvimento radicular e produtividade da soja, indicando sinergismo entre essas duas espécies. Fatores como a maior sensibilidade ao herbicida utilizado na dessecação, e decomposição mais rápida do material vegetal, podem estar relacionados com o melhor desempenho da soja cultivada sobre *B. ruziziensis*.

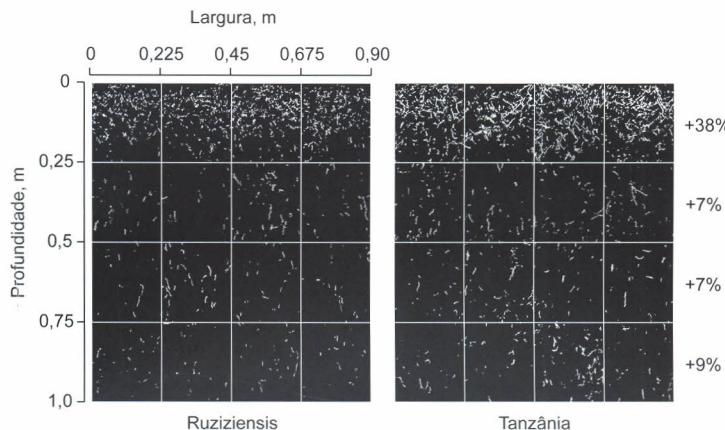


Figura 22. Distribuição do sistema radicular de forrageiras tropicais. Cada quadrícula na figura representa uma área de 0,225 m de largura X 0,25 m de profundidade. O perfil total representa 0,9 m de largura por 1,0 m de profundidade. O percentual indica o aumento, na profundidade indicada, na área radicular do *Panicum maximum* cv. “Tanzânia” em relação à *Brachiaria ruziziensis*. Embrapa Soja/Universidade Estadual de Maringá/Estância JAE, Santo Inácio/PR, 2006.

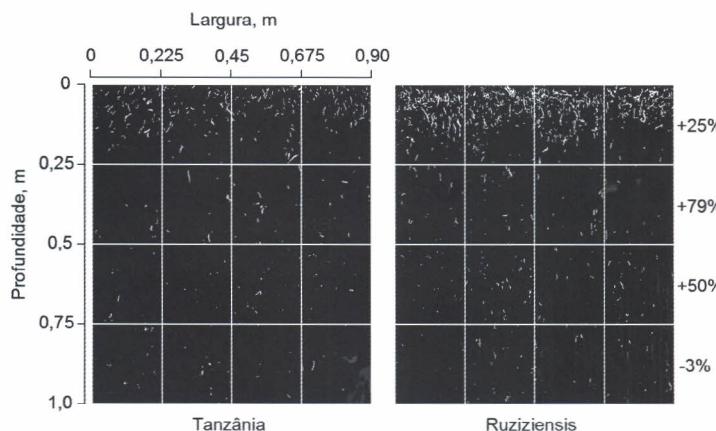


Figura 23. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja após semeadura sobre *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *Brachiaria ruziziensis*. Cada quadrícula na figura representa uma área de 0,225 m de largura X 0,25 m de profundidade. O perfil total representa 0,9 m de largura por 1,0 m de profundidade. O percentual indica a redução (-) ou aumento (+), na profundidade indicada, na área radicular da soja sobre *Brachiaria ruziziensis* em relação à soja sobre *Panicum maximum* cv. “Tanzânia”. Embrapa Soja/Universidade Estadual de Maringá/Estância JAE, Santo Inácio/PR, 2007.

Considerações finais

Os resultados de pesquisa comprovam que a rotação de culturas é uma prática viável para a sustentabilidade da produção agrícola. É preciso que a assistência técnica e os produtores tratem a rotação de culturas como um investimento na propriedade, cujo retorno irá ocorrer a médio e longo prazo. Do mesmo modo, é importante levar em consideração que os benefícios da rotação de culturas não se limitam ao aumento da produtividade, mas envolvem também a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo, bem como a redução na ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas.

Nesse sentido, a rotação de culturas é uma prática fundamental para aumentar a estabilidade da produção das culturas face às variações climáticas comumente observadas no Paraná, não só pela melhoria na qualidade do solo e pela produção de cobertura, mas também por proporcionar a diversificação de cultivares e o escalonamento da época de semeadura. Além disso, a rotação de culturas reduz os custos de produção pela racionalização no uso dos insumos. A utilização de diferentes espécies vegetais para produção de grãos e/ou forragem possibilita ainda a diversificação da renda da propriedade, reduzindo o risco mercadológico e climático inerente à produção agropecuária. O desempenho econômico, ambiental e social da agricultura paranaense é bom, mas pode ficar ainda melhor com o adequado planejamento do sistema de produção por meio da rotação de culturas.

Agradecimentos

À Fundação Agrisus, Bunge, CNPq e Finep/FNDCT/Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), pelo apoio financeiro aos projetos que originaram os resultados apresentados.

Ao Engenheiro Agrônomo M.Sc. Celso de Almeida Gaudêncio, pelo pioneirismo e ideias que embasaram os experimentos de rotação de cul-

turas conduzidos na Embrapa Soja e Coamo.

Ao Engenheiro Agrônomo Fernando Sichieri, proprietário da Estânciia JAE, localizada em Santo Inácio/PR, pela inestimável contribuição para as pesquisas sobre integração lavoura-pecuária, mediante a disponibilização da área e condução dos experimentos.

Aos funcionários da Estação Experimental da Coamo, Ademir Antonio Simionatto, Aldenide Guedes Filho e Valdair Luiz dos Santos Braga, pelo trabalho dedicado na coleta de dados e condução do experimento sobre Rotação de Culturas em Campo Mourão/PR.

Aos funcionários da equipe de Manejo do Solo e da Cultura da Embrapa Soja, Eliseu Custódio de Souza, Luiz Gustavo Garbelini, Donizete Aparecido Loni, Mariluci da Silva Pires, João Ribeiro de Macedo, Agostinho Aparecido da Silva, Antonio Aparecido Jacobino, Ildefonso Acosta Carvalho e Everson Balbino, pelo empenho e responsabilidade demonstrados na coleta dos dados e condução dos experimentos sobre rotação de culturas em diferentes regiões do Paraná.

Referências

ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C.D.S.S. (Ed.). **Soja**: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 399 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p. 9-26.

BODDEY, R.M. ; JANTALIA, C. P. ; CONCEIÇÃO, P.C. ; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E. ; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. ; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-

till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

BORKERT, C.M.; GAUDENCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R.; OLIVEIRA-JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p. 143-153, 2003.

BROWN, G. G.; PASINI, A.; OLIVEIRA, L. J.; KORASAKI, V.; SAUTTER, K. D.; PEREIRA, S. D.; TORRES, E. A vida do solo no sistema plantio direto: macro, micro e mesofauna, suas funções e importância. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHADA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: FEBRAPDP, 2008.

CATTELAN, J. C.; TORRES, E.; SPOLADORI, C. L. Sistemas de preparo com a sucessão trigo/soja e os micro-organismos do solo, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 303-311, 1997a.

CATTELAN, J. C.; GAUDÊNCIO, C. A.; SILVA, T. A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os micro-organismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 293- 301, 1997b.

CECCON, G. **Milho safrinha com braquiária em consórcio**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 140).

DERAL. **Tabela dinâmica de produção agrícola por município**. Disponível em: < <http://www.seab.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137> >. Acesso em: 14 nov. 2010.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality

under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; DEBIASI, H.; GONÇALVES, S. L. **Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 12 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 58).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIA, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; KARAM, D.; MATALLO, M. B.; CERDEIRA, A. L.; FORNAROLI, D. A.; OSIPE, R.; SPENGLER, A. N.; ZOIA, L. Interferência da buva em áreas cultivadas com soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010a. 1 CD-ROM.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; FORNAROLI, D. A.; KARAM, D.; CERDEIRA, A. L.; MATALLO, M. B.; OSIPE, R.; ZOIA, L.; SPENGLER, A. N. Manejo de buva em áreas cultivadas com milho safrinha e aveia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010b. 1 CD-ROM.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

v. 31, n. 6, p.1397-1412, 2007.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 212 p.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 20-26, 2010.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R. Difusão de técnicas para a melhoria da qualidade do plantio direto: impacto do projeto e bases referenciais para planejamento. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade.** Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p.191-200.

TORRES, E.; NEUMAIER, N.; GARCIA, A. Sucessão soja x aveia preta. In: EMBRAPA. **Resultados de pesquisa de soja.** Vol. 2. Londrina: Embrapa Soja, 1996. p. 336-341. (Embrapa Soja. Documentos, 99).

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja.** Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.



Soja



A large, stylized white logo for "COAMO" is overlaid on a background photograph of soybean leaves. The "O" in "COAMO" contains a yellow triangle, and the "M" contains a green triangle. Below the main logo, the words "AGROINDUSTRIAL COOPERATIVA" are written in white capital letters.

COAMO

AGROINDUSTRIAL COOPERATIVA

Rua Fioravante João Ferri, 99 - Jardim Alvorada
Caixa Postal 460 - CEP 87308-445 - Campo Mourão - Paraná
Fone: (44) 3599-8000 Fax: (44) 3599-8001
www.coamo.com.br

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE 9288