

Variabilidade temporal da produtividade da soja após conversão do preparo convencional para o sistema plantio direto

VICENTE, C. G.¹; DEBIASI, H.²; FRANCHINI, J. C.²; DELATORRE, P. J.¹. ¹ UNIFIL- Centro Universitário Filadélfia; ²Embrapa Soja. Embrapa Soja, Caixa Postal, 231, 86001-970, Londrina, Paraná.
E-mail: caroline@cnpso.embrapa.br

Introdução

O sistema plantio direto (SPD) apresenta vantagens que podem ser ressaltadas, tais como o controle da erosão, a redução da temperatura e conservação da umidade do solo, o controle de plantas daninhas, o favorecimento a atividade, abundância e diversidade biológica, a melhoria na estruturação do solo e nas condições fitossanitárias da cultura, assim como a maior economia em adubação, maquinário e combustível (MUZZILI, 1981). No SPD, o revolvimento do solo restringe-se à linha de semeadura, promovendo a deposição natural e superficial da cobertura morta. A decomposição à superfície torna-se mais lenta e escalonada (em pulsos), face às pronunciadas oscilações de temperatura e umidade do substrato, em confronto com o preparo convencional (arações e gradagens), onde a matéria orgânica é incorporada e sua decomposição é contínua (SÁ, 1995).

Durante anos de pesquisas, tem-se confirmado que a produtividade das culturas no SPD, na média dos anos, é maior do que o preparo convencional - PC (FERNANDES et al., 1999; COSTA et al., 2003; ALBUQUERQUE et al., 2005). O aumento da produtividade das culturas no SPD em relação ao PC está relacionado, em primeiro lugar, à recuperação, preservação e/ou melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo proporcionadas por esse sistema (FRANCHINI et al., 2008). De acordo com esses autores, a melhoria da qualidade do solo no SPD está diretamente associada ao aumento no teor de matéria orgânica do solo, o que se processa ao longo do tempo. A cobertura do solo também exerce papel importante no aumento da produtividade das culturas, por protegê-lo contra os processos erosivos (MUZZILI, 1981), bem como diminuir a temperatura e conservar a umidade do solo (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990).

Na maioria dos casos, o SPD tem sido implantado sobre solos degradados, explorados durante muitos anos sob preparo convencional. Para garantir o sucesso do SPD, tem sido amplamente recomendado o condicionamento e adequação prévia do terreno, quando necessário, para superar problemas de natureza física e/ou química (MUZZILI, 2006). No entanto, esse procedimento não é suficiente para recuperar a qualidade do solo, uma vez que, entre outros aspectos, não eleva o teor de matéria orgânica do solo. Diante disso, ainda restam muitas dúvidas a respeito do tempo necessário para que o SPD recupere o potencial produtivo do solo. Nesse sentido, a adoção de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas de cobertura pode reduzir esse tempo, devido ao maior aporte de fitomassa e à ação do sistema radicular dessas espécies vegetais. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a evolução temporal da produtividade da soja após a conversão do preparo convencional para o sistema de plantio direto.

Material e Métodos

O experimento vem sendo conduzido na Embrapa Soja desde a safra 1988/89, em Londrina/PR, sobre um Latossolo Vermelho distroférico (710 g kg^{-1} de argila). A área experimental foi ocupada por uma plantação de café até 1973, quando então começou a ser explorada com culturas anuais de grãos (soja no verão e trigo no inverno), sob preparo convencional de solo (arações e gradagens). Portanto, o experimento foi instalado sobre uma área de solo degradado. Os tratamentos são constituídos por três sistemas de preparo e dois de culturas. Os sistemas de preparo avaliados são: plantio direto (SPD); preparo convencional com arado de discos + grade niveladora no verão (AD); e preparo convencional com arado de aiveca + grade niveladora no verão (AV). Antes da implantação das culturas de inverno, nos tratamentos AD e AV, o solo é preparado com o uso de grade pesada + grade niveladora. A partir da safra de verão 2001/02, o tratamento AV passou a ser conduzido sob SPD. Este tratamento foi então denominado de sistema de plantio direto novo (SPDn). Os sistemas de culturas estudados são a sucessão trigo/soja e um sistema de rotação de culturas de quatro anos: tremoço azul/milho-aveia preta/soja-trigo/soja-trigo/soja. A adubação, a implantação das culturas e os tratamentos culturais foram realizados de acordo com as indicações técnicas para as culturas do trigo, do milho e da soja para o Estado do Paraná, em vigor nas diferentes safras. Somente nas safras 1998/99 e 2000/01, a soja não foi adubada. As plantas de cobertura de inverno (aveia preta e tremoço azul) não foram adubadas, à exceção da aveia preta em 2006, que recebeu uma adubação equivalente à aplicada no trigo.

A produtividade de soja foi determinada da safra 1988/89 à safra 2008/09, mediante a colheita de 12 linhas de soja de 30 metros de comprimento por parcela. Os valores de produtividade foram corrigidos para a umidade de 13%. Para a análise da variância, o modelo empregado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas: nas parcelas, utilizou-se o fatorial 3×2 entre sistemas de preparo e sistemas de culturas) e, nas subparcelas, considerou-se as vinte safras avaliadas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas por meio dos programas SAS (SAS Institute, 2001) e SANEST (ZONTA et al., 1982).

Resultados e discussão

A evolução temporal da produtividade da soja, em função do sistema de manejo do solo e do sistema de culturas (rotação ou sucessão) é apresentada na Figura 1. Comparando-se os sistemas de preparo dentro da rotação tremoço/milho-aveia/soja-trigo/soja-trigo/soja, nota-se que, estatisticamente, a produtividade da soja no SPD foi igual ou inferior à obtida nos tratamentos AD e AV, durante os seis primeiros anos de condução do experimento (quatro safras de soja), de 1988/89 a 1993/94 (Figura 1a). Das seis safras de soja realizadas no período compreendido entre 1994/95 e 2000/01, em quatro (66%) o SPD resultou em produtividades da soja significativamente maiores comparativamente aos tratamentos com revolvimento de solo (AD e AV). Esses resultados demonstram que, sob rotação de culturas, foram necessários seis anos (quatro safras de soja e duas de milho) para que a fase de estabilização do sistema de PD fosse superada. As melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que se processam ao longo da fase crítica do SPD, associada à cobertura do solo proporcionada pelos resíduos culturais, são os principais fatores responsáveis pela maior produtividade nesse sistema em relação ao PC, observada a partir da safra 1994/95. Além disso, o aumento da produtividade da soja no SPD em relação aos tratamentos AD e AV pode ser atribuído também aos avanços na tecnologia disponível para a condução do SPD, particularmente no que se refere ao manejo de plantas daninhas e ao desenvolvimento de semeadoras-adubadoras adaptadas ao sistema.

Resultados semelhantes foram obtidos no sistema de sucessão trigo/soja (Figura 1b). Porém, a fase de estabilização do PD na sucessão de culturas apresentou uma maior duração em comparação ao sistema de rotação de culturas, equivalente há dez anos (safras de 1988/89 a 1997/98). Durante esse período, a produtividade da soja no SPD em relação aos tratamentos AD e AV foram estatisticamente igual em sete safras, inferior em duas e maior em apenas uma, mostrando claramente que o SPD encontra-se em fase de estabilização. Posteriormente, em todas as três safras realizadas entre 1998/99 e 2000/01, a produtividade da soja foi maior no SPD, todavia, sem diferença estatística em alguns anos, quando comparado os tratamentos AD e AV (Figura 1 b). O período de estabilização menor do SPD está associado a maior aporte de fitomassa (parte aérea e raízes) proporcionado pelo sistema de rotação de culturas, o que possivelmente tenha resultado num maior acúmulo de matéria orgânica e, conseqüentemente, em melhorias mais rápidas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A importância

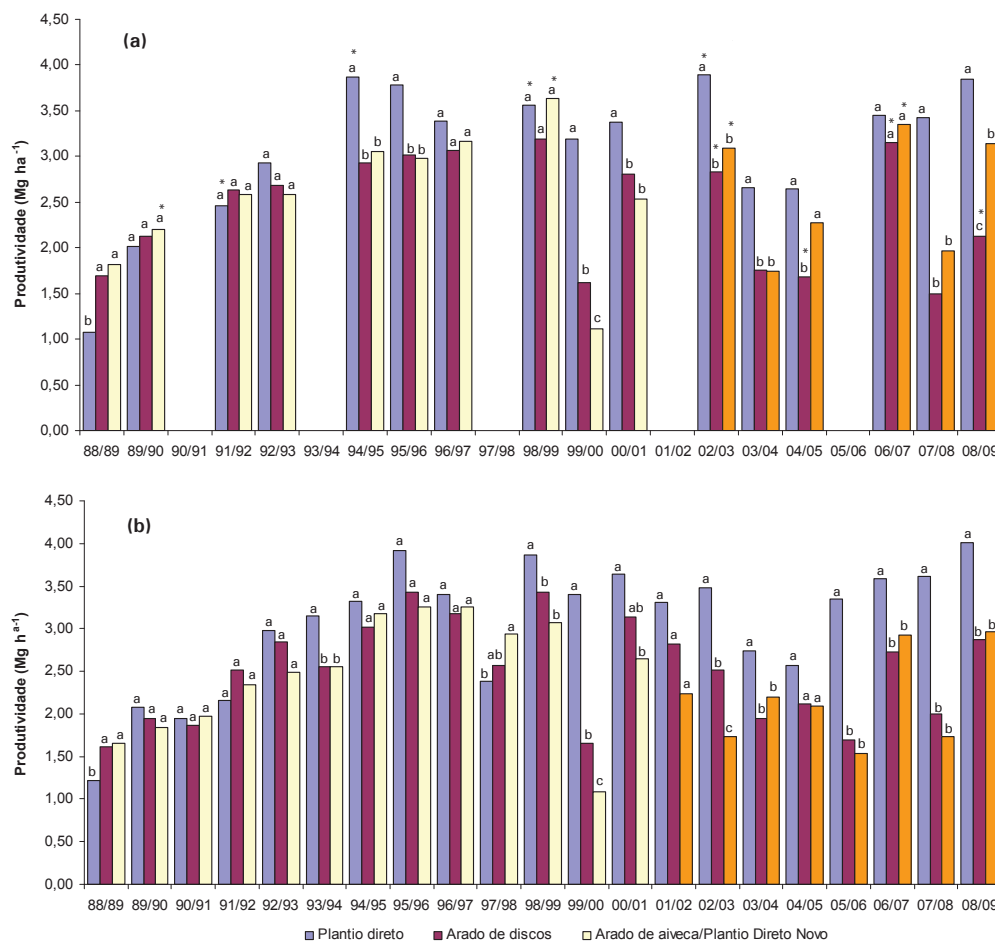


Fig. 1. Evolução temporal da produtividade da soja em função do sistema de preparo de solo, na rotação aveia/soja-tremoço/milho-trigo/soja-trigo/soja (a) e na sucessão trigo/soja (b). As letras minúsculas comparam as médias dos sistemas de preparo dentro de cada safra e sistema de culturas. O asterico (*) indica a existência de diferenças significativas na comparação entre as médias da rotação e da sucessão de culturas, dentro de cada sistema de preparo e safra.

da matéria orgânica do solo para que o PD atinja rapidamente a fase de equilíbrio torna-se mais evidente quando se compara os resultados deste trabalho com os obtidos por Fontoura & Bayer (2008). Em um solo com teor de matéria orgânica naturalmente maior do que o utilizado no presente estudo (Latossolo Bruno aluminico, em Guarapuava/PR), esses autores encontraram que a fase de estabilização do PD em relação à produtividade da soja perdurou por quatro anos. É importante considerar ainda a ação direta do sistema radicular das plantas de cobertura incluídas na rotação de culturas, tanto na estabilização de agregados (Silva & Mielniczuk, 1997) e abertura de bioporos (Franchini et al., 2009) que minimizam os efeitos de camadas compactadas de solo, quanto na reciclagem de nutrientes (Florentín et al., 2001).

Conforme descrito no Material e Métodos, o tratamento AV passou a ser conduzido sob SPD a partir da safra de verão 2001/2002. De acordo com as Figuras 1a e 1b, observa-se que, da safra 1988/89 até a de 1998/99, a produtividade da soja no tratamento AV foi similar à obtida para o tratamento AD, independentemente do sistema de culturas utilizado. No entanto, a produtividade da soja no tratamento AV, nas duas últimas safras em que o mesmo foi conduzido (1999/00 e 2000/01), tendeu a ser inferior ao tratamento AD, apresentado inclusive, diferença estatística em 99/00 (Figuras 1a e 1b). Esse fato evidencia que o sistema de preparo com arado de aiveca resultou em um maior nível de degradação da qualidade do solo comparativamente ao preparo com arado de discos. Embora preserve melhor os agregados de solo, o arado de aiveca apresenta uma maior capacidade de incorporar os resíduos comparativamente ao arado de discos (Carvalho Filho et al., 2007), o que, além de acelerar a sua decomposição, resulta numa menor cobertura do solo, tornando-o mais suscetível aos processos erosivos.

Após a conversão do tratamento AV em SPDn, verifica-se que, para o sistema de sucessão trigo/soja, a produção de soja no SPDn foi inferior ao SPD e ao AD nas duas primeiras safras, embora em 2001/02 as diferenças entre os tratamentos não tenham sido estatisticamente significativas (Figura 1b). Nota-se, ainda, que em todas as safras realizadas a partir de 2003/04 no sistema de sucessão de culturas, a produtividade da soja no SPDn não diferiu significativamente da obtida no tratamento AD. Já para o sistema de rotação de culturas (Figura 1a), a produtividade da soja no SPDn foi estatisticamente igual ao AD já na primeira safra após a implantação do referido tratamento (2002/03). Além disso, verifica-se que das seis safras realizadas após a conversão do tratamento AV em SPDn, em duas (2004/05 e 2008/09) a produtividade da soja foi significativamente maior nesse tratamento comparativamente ao AD. Por outro lado, a exemplo do observado para a sucessão de culturas, o SPD continuou resultando em produtividades de soja superiores ao SPDn, sendo que, das seis safras dessa oleaginosas avaliadas após 2001/02, em quatro (2002/03, 2003/04, 2007/08 e 2008/09), as diferenças foram estatisticamente significativas.

Ainda com relação aos sistemas de culturas, verifica-se que, no SPD, esse fator influenciou significativamente a produtividade da soja em quatro safras, todas elas correspondentes ao primeiro ano de cultivo da oleaginosa após milho no sistema de rotação de culturas (Figuras 1a e 1b). Destas, em três safras (1991/92, 1994/95 e 2002/03), a produtividade da soja foi significativamente maior na rotação do que na sucessão de culturas. Como a primeira safra de soja após milho sempre foi implantada sobre resíduos de aveia preta, não é possível concluir se os efeitos positivos da rotação de culturas sobre a produtividade dessa oleaginosa se devem ao milho, à aveia preta ou a ambos. Entretanto, na safra 1998/99, a soja produziu menos na rotação do que na sucessão de culturas. Como a soja não foi adubada na safra 1998/99, é possível que esta cultura tenha respondido positivamente à adubação residual proveniente do trigo na sucessão. Na rotação de culturas, a soja foi implantada após a aveia preta, que não foi adubada. No caso do AD, os efeitos da rotação de culturas sobre a produtividade da soja foram menos evidentes. Nesse sentido, das quatro safras onde o sistema de culturas afetou significativamente a produtividade da soja dentro do tratamento AD, em duas (2002/03 e 2006/07) essa variável foi maior na rotação de culturas (Figuras 1a e 1b). Nas outras duas safras (2004/05 e 2008/09), porém, a sucessão trigo/soja resultou em maiores produtividades de soja em relação à rotação. Esses resultados reforçam o fato já conhecido de a rotação de culturas ser mais importante no SPD do que no preparo convencional. Para o tratamento AV, antes da conversão para o SPDn, em apenas duas safras (1989/90 e 1998/99) foram observados efeitos estatisticamente significativos do sistema de culturas sobre a produtividades da soja. Nas duas safras, a produtividade da soja foi maior na rotação do que na sucessão de culturas. A partir do momento em que o tratamento AV foi substituído pelo SPDn, a produtividade da soja foi significativamente maior na rotação tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja do que na sucessão trigo/soja em duas safras (2002/03 e 2006/07). De modo similar ao observado para o SPD, a maior

produtividade da soja na rotação no SPDn ocorreu nas safras correspondentes ao primeiro ano de cultivo após o milho. Novamente, não é possível saber se esses efeitos estão relacionados ao milho, à aveia preta e a ambos.

A principal pergunta a ser respondida por este trabalho refere-se ao tempo necessário após a conversão do preparo convencional para o SPD para que a produtividade da soja atinja níveis similares aos observados em um SPD já consolidado. Os resultados obtidos anteriormente evidenciam que, mesmo sob rotação de culturas, oito anos não foram suficientes para que a produtividade da soja no SPDn, implantado em substituição a um sistema de preparo convencional com arado de aiveca conduzido durante treze anos, atingisse valores similares aos obtidos no SPD consolidado. Dessa forma, fica claro que o benefício do SPD para a produtividade da soja não se justificam somente pela cobertura permanente do solo e seus efeitos positivos sobre a temperatura e conservação do conteúdo de água do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990). O SPD, desde que bem conduzido, resulta em melhorias na qualidade física, química e biológica do solo, em virtude da ausência de revolvimento, do controle dos processos erosivos e do acúmulo de matéria orgânica, o que ocorre no médio ou longo prazo (Franchini et al., 2008). A recuperação do solo no SPDn foi mais evidente no sistema de rotação comparativamente ao de sucessão de culturas, onde a produtividade da soja, em algumas safras, superou a observada no AD. No entanto, cabe destacar que, quando manejado sob rotação de culturas, o SPD ultrapassou a fase de estabilização após o quinto ano. No caso do SPDn, oito anos não foram suficientes para que o sistema superasse a fase de estabilização, mesmo quando manejado sob rotação de culturas. Provavelmente, esse resultado possa ser justificado em função elevado grau de degradação da qualidade do solo ocasionada por treze anos de adoção contínua do preparo com arado de aiveca.

Conclusões

Mesmo oito anos após a conversão de um sistema de preparo convencional com arado de aiveca para sistema plantio direto, a produtividade da soja nesse tratamento continua sendo inferior ao sistema plantio direto consolidado, iniciado há 21 anos. Embora não tenha sido suficiente para reduzir a duração do período de estabilização do sistema plantio direto implantado após treze anos de preparo convencional com arado de aiveca, a rotação de culturas contribuiu para o aumento da produtividade da soja nessa fase, particularmente na primeira safra após o milho.

Referências

- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 963-975, 2005.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 3, p. 369-374, 1990.
- CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C. C.; LOPES, A. Agregação de um Latossolo Vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba – MG. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.1, p. 317-325, 2007.
- 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**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1691-1698, 1999.

FLORENTÍN, M. A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, M.; DERPSCH, R. **Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa**. Pequeñas propiedades. San Lorenzo, Paraguay: MAG – GTZ, 2001. 83 p.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. **Trinta anos do experimento de manejo de solo, Guarapuava, PR**. Guarapuava: FAPA, 2008. 55 p.

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.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 40 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

MUZZILI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: IAPAR. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 11-17 (IAPAR. Circular, 23.)

MUZZILI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 9-27.

SÁ, J. C. M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1996.

SAS INSTITUTE. **SAS user´s guide statistics: version 8.2**. Cary: SAS Institute, 2001. 291 p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A. A., SILVEIRA JÚNIOR, P. **Sistema de Análise Estatística – SANEST**.