

Capítulo 3

Manejo do solo

Osmar Conte, Julio Cezar Franchini, Henrique Debiasi, Alvadi Antonio Balbinot Junior

O manejo do solo consiste em um conjunto de operações e práticas realizadas com o objetivo de propiciar condições de solo favoráveis à sementeira, ao estabelecimento, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado. O manejo do solo para a sementeira é a primeira e talvez a mais importante operação a ser realizada. O mesmo compreende um conjunto de práticas que, quando usadas racionalmente, resultam em alta produtividade das culturas com baixos custos. Por outro lado, quando usadas de maneira incorreta, podem levar o solo rapidamente à degradação física, química e biológica, diminuindo o seu potencial produtivo.

O Sistema Plantio Direto (SPD), quando conduzido de acordo com suas premissas (mínima mobilização do solo, cobertura permanente por culturas ou por seus resíduos e diversificação de espécies vegetais), promove consideráveis ganhos em relação à conservação do solo e à produtividade das culturas. Isso ocorre em função da proteção da superfície do solo pelos resíduos vegetais, da manutenção ou aumento do teor de carbono orgânico, da disponibilidade de nutrientes, do armazenamento de água no solo, resultante da maior infiltração e da menor perda por evaporação para a atmosfera. Entretanto, o atual sistema de produção agrícola, em

muitos casos, tem levado a um processo de degradação do solo, sendo a sua intensidade variável de acordo com o clima, o tipo de solo e as espécies vegetais cultivadas. Dentre os fatores responsáveis, destacam-se o tráfego intensivo de máquinas agrícolas, a produção insuficiente de fitomassa da parte aérea e das raízes com a consequente redução da cobertura e da matéria orgânica do solo, o uso de áreas inaptas para culturas anuais, a excessiva mobilização da superfície do solo e a ausência ou adoção parcial de práticas mecânicas para controle da enxurrada.

Todas as informações constantes deste capítulo utilizam como base resultados de pesquisa obtidos em ensaios de manejo do solo de longo prazo, conduzidos sob diferentes condições edafoclimáticas pela Embrapa e outras instituições de ensino e pesquisa. Essa afirmação é importante na medida em que proporciona confiabilidade às informações aqui apresentadas e discutidas.

Sistema Plantio Direto (SPD)

O SPD é um sistema conservacionista de manejo do solo, fundamentado na mínima mobilização do solo, na sua cobertura permanente por culturas ou por seus resíduos e pela adoção de modelos de produção diversificados, baseados na rotação e consorciação de culturas. No Brasil, o SPD surgiu no início da década de 1970 a partir de experiências pioneiras de produtores do Paraná. No entanto, apenas a partir do final da década de 1980 a sua adoção cresceu exponencialmente, principalmente com o aprimoramento e o desenvolvimento de máquinas agrícolas adaptadas ao sistema, bem como de novas tecnologias para o manejo químico e cultural de plantas daninhas. Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e Irrigação (FEBRAPDP), foram cultivados em 2019 no Brasil cerca de 33 milhões de hectares em SPD (FEBRAPDP, 2019), sendo o País com a maior área de adoção desse sistema. É importante salientar, que o SPD é um sistema complexo que se ampara em diversas premissas, dentre elas a semeadura direta, ou seja, a operação de semeadura das culturas realizada sem preparo primário e secundário de solo. Entretanto, para caracterizar o SPD e dispor de todos os benefícios que esse sistema pode proporcionar, não basta somente realizar a semeadura direta. Também se deve utilizar modelos de produção diversificados,

capazes de adicionar fitomassa suficiente para cobrir permanentemente o solo e resultar em balanço positivo de carbono, incrementando assim o estoque de matéria orgânica do solo. Conjuntamente, também devem ser adotadas práticas mecânicas de controle da enxurrada, como semeadura em nível e uso de terraceamento.

Apesar do predomínio aparente do SPD em áreas de produção de soja no Brasil, os modelos de produção adotados são, na maioria dos casos, pouco diversificados. De forma geral, existe o predomínio de sistemas de sucessão de culturas, sendo os mais comuns os de trigo e soja na região subtropical e milho 2ª safra e soja na região tropical. Associado à ausência de sistemas de rotação de culturas, ainda se utiliza periodicamente o preparo do solo com arados, escarificadores e grades de discos. Assim, na realidade, existe uma adoção parcial das premissas básicas do SPD e o predomínio de sistemas com baixa produção de resíduos vegetais e mobilização periódica do solo. Em decorrência disso é comum se observar áreas de produção de soja apresentando sintomas de degradação da estrutura do solo, com a formação de camadas compactadas, encrostamento superficial e perdas de solo, água e nutrientes por erosão, bem como aumento da ocorrência e dos danos ocasionados por pragas, doenças e plantas daninhas. Deste modo, é importante que o SPD seja utilizado de acordo com os seus princípios básicos, visando diminuir a maioria desses problemas e proporcionar melhorias significativas na conservação do solo e da água, bem como aumentar o aproveitamento dos recursos e insumos como os fertilizantes, proporcionando redução de custos, estabilidade de produção e melhoria das condições de vida do produtor rural e da sociedade. Para que esses benefícios aconteçam, tanto os agricultores quanto os responsáveis pela assistência técnica devem estar predispostos a mudanças, conscientes de que o SPD é importante para alcançar êxito e sustentabilidade na atividade agrícola.

Requisitos para a implantação e manutenção do SPD

Como em qualquer atividade agropecuária, o planejamento é fator importante para reduzir erros e riscos e aumentar a probabilidade de sucesso. Tendo em vista que o SPD implica em mudanças profundas nos sistemas de produção de soja, bem como em custos para adequação

das áreas, é importante que a sua adoção ocorra de maneira gradativa, aumentando-se a área sob esse sistema ano a ano.

O primeiro passo para a implantação do SPD envolve a realização de amostragem para análise química de solo. Em situações de baixo pH, baixa saturação por bases e elevados teores de alumínio, deve-se proceder a correção da acidez do solo mediante aplicação e incorporação de calcário pelo menos até 20 cm de profundidade. Essa etapa é essencial para o sucesso do sistema, pois após a implantação do SPD, as aplicações de corretivos de acidez serão realizadas somente em superfície. A mesma lógica pode ser aplicada ao fósforo, considerando sua baixa mobilidade no solo e com isso a dificuldade de incrementar os teores em subsuperfície quando as aplicações ocorrem superficialmente ou em sulco de semeadura. Os critérios para amostragem de solo, correção da acidez e dos teores de fósforo são apresentados no capítulo 7 “Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja”.

É importante ressaltar que a forma mais rápida de corrigir a acidez do solo até a profundidade de 20 cm é pela incorporação do calcário com arado de discos e grades aradoras. No entanto, existem vários trabalhos realizados em diferentes regiões do Brasil, mostrando que a transformação de áreas de pastagem natural ou cultivadas, diretamente para o cultivo de soja em SPD, pode ser feita a partir de correção superficial do solo, particularmente em áreas com menor acidez subsuperficial, como as de textura arenosa. Em se tratando de pastagens degradadas, normalmente faz-se necessário a sistematização da superfície, eliminando caminhos dos animais, cupinzeiros quando ocorrem e demais irregularidades de superfície do terreno que possam vir a comprometer a semeadura e principalmente a colheita. No caso do cultivo da soja em áreas com pastagens degradadas, principalmente em solos arenosos, com necessidade de correção da acidez em profundidade por meio da incorporação dos corretivos, a indicação atual é a utilização do Sistema São Mateus, desenvolvido pela Embrapa (Salton et al., 2013), que consiste na semeadura de uma espécie forrageira logo após o preparo do solo e a incorporação de calcário, gesso e fertilizantes. No ano seguinte, a partir da dessecação da pastagem, iniciar o cultivo de soja em SPD.

Áreas conduzidas sob preparo convencional por muitos anos apresentam, em geral, camadas compactadas (pé-de-arado ou pé-de-grade) em subsuperfície por causa do uso contínuo de preparo do solo com os mesmos implementos (arados ou grades) e nas mesmas profundidades. Antes da implantação do SPD, essas camadas compactadas devem ser eliminadas, o que pode ser realizado por ocasião da incorporação dos corretivos de acidez ao solo. Nesse caso, o implemento deve ser regulado para trabalhar numa profundidade um pouco maior do que a correspondente a camada compactada.

O preparo do solo para incorporação de corretivos e fertilizantes, bem como para a descompactação, deve ser realizado antes da implantação de culturas de cobertura do solo, com rápido crescimento inicial, grande potencial de produção de fitomassa e sistema radicular abundante e profundo, visando diminuir os riscos de perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica na fase de estabelecimento do SPD. Com o mesmo objetivo, deve-se evitar a realização das operações de preparo do solo no início do período chuvoso, quando a probabilidade de ocorrência de precipitações pluviométricas de alta intensidade e alto potencial erosivo é maior. Na maioria das situações, indica-se que essas operações sejam realizadas após a colheita da safra de verão e antes da semeadura de espécies de cobertura no outono-inverno ou 2ª safra. Nesse contexto, as espécies mais indicadas para cultivo após a incorporação dos corretivos e fertilizantes são as gramíneas forrageiras.

A sistematização da área também faz parte do planejamento a ser adotado. Nesse quesito deve-se prever a construção ou readequação de terraços e estradas, a divisão de talhões, a retirada de pedras, tocos e raízes, assim como a realização de ajustes no microrrelevo, como a eliminação de sulcos de erosão. É fundamental que essas operações sejam executadas previamente ao estabelecimento do SPD, visto que depois não são previstas operações de mobilização de solo. Além disso, a construção de terraços ou mesmo correções de microrrelevo realizadas com deslocamento da camada superficial do solo resultam em desuniformidade da fertilidade do solo, que é mais facilmente corrigida antes da implantação do SPD.

A adoção do SPD de forma isolada não é, na maioria das situações, condição suficiente para o controle efetivo das perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica. A cobertura do solo por resíduos vegetais e/ou plantas vivas no SPD apresenta potencial para dissipar em até 100% energia cinética gerada pelo impacto da gota da chuva e, assim, praticamente eliminar a erosão entre sulcos (Kochhann et al., 2005). Entretanto, de acordo com os mesmos autores, a cobertura do solo não apresenta a mesma eficácia na dissipação da energia cinética decorrente da ação cisalhante da enxurrada, responsável pela erosão em sulcos. Desse modo, a ocorrência de chuvas com intensidade superior à capacidade de infiltração de água do solo, associada a topossequências com grandes comprimentos de declive, condições comuns a grande parte das áreas de produção de soja no Brasil, podem resultar no arraste dos resíduos presentes na superfície do solo e, conseqüentemente, em escoamento superficial de água mesmo em áreas manejadas sob SPD. Nessas situações, o controle da enxurrada no SPD deve ser feito por meio da segmentação do comprimento do declive com a utilização de práticas como o terraceamento e a realização de todas as operações mecanizadas em nível. A falta de manutenção ou eliminação parcial ou total dos terraços, sem critério técnico, associada à realização das operações mecanizadas paralelamente ao declive, com o objetivo de economizar insumos e tempo, pode resultar em elevadas perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica mesmo em SPD, comprometendo a sustentabilidade do sistema de produção de soja.

O dimensionamento dos terraços por meio de métodos empíricos desenvolvidos para áreas manejadas em preparo convencional é inadequado para as condições de SPD, por causa do reduzido espaçamento horizontal entre os mesmos, o que dificulta a realização das operações mecanizadas e aumenta os gastos com insumos, sendo uma das razões que levam os produtores à eliminação dos terraços. A maior capacidade de infiltração de água do solo, associada à dissipação da energia cinética do impacto da gota de chuva e da ação cisalhante da enxurrada, permite aumentar a distância entre os terraços no SPD, o que deve ser feito a partir de modelos e critérios desenvolvidos e validados para

as condições edafoclimáticas brasileiras. Uma das opções disponíveis para dimensionamento dos terraços em SPD é o método do volume de enxurrada esperado, com o uso do programa computadorizado “Terraço 4.1” (Pruski, 2015), cujos princípios já foram validados em condições de campo pela Embrapa Trigo (Denardin et al., 2005).

Cobertura do solo

O SPD tem como uma de suas principais premissas a cobertura permanente do solo, tanto pelos resíduos das culturas de interesse econômico quanto daquelas cultivadas com o intuito de produzir palha e proporcionar cobertura do solo. A situação mais adequada é obtida quando se consegue conciliar produtividade e rentabilidade com as condições adequadas para manutenção de SPD com qualidade. No entanto, a cultura da soja produz reduzida quantidade de palha e de rápida decomposição visto sua baixa relação C/N. Assim, é essencial o planejamento dos modelos de produção associando a soja com culturas que proporcionem elevada produção de fitomassa, de forma a permitir adequada cobertura do solo e ainda proporcionar suficiente adição de carbono ao solo para que o balanço do sistema seja positivo e com isso incrementar o teor de matéria orgânica do solo.

A combinação de soja e milho na segunda safra, amplamente adotada em estados como o PR, MS, MT e GO, tem contribuído para maior adição de palha ao sistema, representando um grande avanço em relação à monocultura da soja no verão seguida de pousio na entressafra. No entanto, a palha do milho na 2ª safra, mesmo adicionada em quantidades relativamente altas, em geral não apresenta alto potencial de cobertura do solo. O que se observa é que os colmos e demais partes da planta do milho, após a colheita, não conferem adequada cobertura do solo e, com isso, tem-se o efeito negativo das chuvas e radiação solar sobre o solo, além de permitir o estabelecimento de plantas daninhas. Portanto, faz-se necessário arranjar a soja em modelos de produção diversificados e adequados às condições edafoclimáticas de cada região, de forma que possibilitem atender as condições para permanente cobertura do solo. Nesse sentido, uma alternativa para aumentar a cobertura do solo

no sistema soja-milho 2ª safra é o cultivo do milho em consórcio com espécies de braquiária. Outra opção envolve a implantação de culturas com ciclo curto, como o milheto e o nabo forrageiro, preenchendo o espaço entre culturas de interesse econômico. Dentre as possibilidades, deve-se sempre que possível utilizar espécies forrageiras que, além de proporcionar cobertura do solo, possibilitam ganhos com a integração lavoura-pecuária.

As espécies não comerciais ou forrageiras usadas como cobertura de solo em SPD devem ter adaptação às condições ambientais particulares de cada região. Ainda, é importante levar em consideração as seguintes características: potencial de produção de fitomassa; persistência da palhada na superfície do solo, determinada pela relação C/N e pela presença de compostos orgânicos de difícil decomposição, como a lignina; ciclo da cultura adequado às janelas de cultivo; não se tornar invasora nas culturas comerciais; apresentar sistema radicular abundante e profundo; não servir de hospedeiras de pragas e fitopatógenos; e ser de fácil manejo, seja químico ou mecânico. Informações adicionais sobre os requisitos para a escolha de espécies vegetais na composição de modelos de produção envolvendo a soja podem ser encontradas no capítulo 5 “Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção” e no capítulo 6 “Soja em sistema Integração Lavoura-Pecuária”.

É importante reforçar que a fitomassa das espécies escolhidas para formação de cobertura morta do solo deve apresentar elevada persistência, principalmente em se tratando de regiões tropicais com solos de textura média a arenosa. Como exemplo, pode-se citar o milheto, que possui alta capacidade de produção de fitomassa em curto período, mas que após o manejo químico ou mecânico apresenta acelerada decomposição. Nessas condições, espécies de braquiária podem fornecer palha com maior longevidade, e dependendo do sistema adotado na propriedade, onde se tem atividade mista com pecuária, deve-se considerar a permanência dessas por mais de um ano, em rotação com a soja (ver capítulo 6, “Soja em sistema Integração Lavoura-Pecuária”). No caso de espécies leguminosas, cuja inserção em modelos de produção é importante pela

capacidade das mesmas em adicionar nitrogênio ao sistema via fixação biológica, mas que apresentam, de modo geral, rápida decomposição da fitomassa, o consórcio com espécies gramíneas é uma opção viável para aumentar a persistência da palhada sobre o solo.

Manejo dos resíduos das culturas e das plantas de cobertura do solo

A fragmentação e a distribuição dos resíduos culturais no momento da colheita é uma etapa importante na condução do SPD. Essa etapa deve ser realizada de modo que a cobertura do solo pelos restos culturais seja uniforme, sem dificultar a operação de semeadura da cultura subsequente. Primeiramente, deve-se evitar a fragmentação excessiva, que demanda mais potência da colhedora, elevando o consumo de combustível e diminuindo o rendimento da operação, além de acelerar a decomposição dos resíduos no solo, proporcionando assim menor tempo de cobertura do mesmo. Resíduos culturais como os da soja têm decomposição rápida, sendo assim, é importante regular o picador de palha das colhedoras para mínima ação, o suficiente para fazer a distribuição sobre o solo. É fundamental que os resíduos sejam distribuídos na mesma largura que a faixa de corte da plataforma da colhedora, para que sejam eficientes na cobertura do solo e não causem faixas de concentração de nutrientes após sua decomposição. Além disso, a distribuição desuniforme dos restos culturais na colheita pode dificultar o controle de plantas daninhas, protegendo-as do contato com os herbicidas aplicados via pulverização (efeito “guarda-chuva”) e a semeadura da cultura subsequente. Atualmente, o atendimento desse requisito tem se tornado um desafio, visto que as colhedoras estão cada vez maiores, com plataformas de corte que podem chegar a 45 pés (13,7 m).

No caso do milho, as plataformas de colheita (despigadoras) recolhem somente a espiga e parte do colmo e das folhas, que passam pela trilha e pela separação, até serem distribuídos ao solo por mecanismo específico, sem triturar. A presença de colmos sem triturar, concentrados na linha de semeadura, associada à alta persistência dos restos culturais de milho em razão da sua elevada relação C/N, pode dificultar o processo de

semeadura e o estabelecimento da cultura em sucessão, principalmente em situações onde a produção de palhada do milho é alta e o intervalo entre a colheita dessa cultura e a semeadura da espécie subsequente é reduzido. Sob essas condições, bastante comuns em áreas onde o milho é cultivado como safra de verão e na sequência cultivam-se espécies como *Phaseolus vulgaris* (feijão comum); *Avena sativa* (aveia); *Triticosecale* (triticale); *Secale cereale* (centeio); *Brassica napus* L. var. *oleifera* (canola) e *Triticum aestivum* (trigo), indica-se o manejo da resteva do milho com o uso de roçadoras, equipamentos para triturar ou, preferencialmente, do rolo-faca, com o intuito de permitir a semeadura dessas culturas de forma adequada. O uso de grade niveladora para fragmentar e uniformizar a distribuição dos resíduos de milho deve ser evitado, pois aumenta a suscetibilidade do solo à erosão e acelera o processo de mineralização da matéria orgânica do solo.

O manejo que comumente tem se aplicado às culturas que tem função exclusiva de cobertura do solo ou àquelas que também atendem a finalidade de forrageiras é a interrupção do ciclo por meio de manejo químico, com a dessecação feita com herbicida de ação total (vide capítulo 11 “Plantas daninhas e seu controle”). Algumas espécies podem demandar aplicações sucessivas, envolvendo herbicidas de diferentes mecanismos de ação. Em algumas situações é possível utilizar o manejo mecânico com rolo-faca, roçadora ou trituradores, isolado ou associado ao manejo químico. Além da redução do uso de herbicidas, o manejo mecânico apresenta ainda a vantagem de posicionar os resíduos na superfície do solo, formando uma camada protetora, o que, em geral, aumenta a eficiência da cobertura na conservação do solo e no manejo de plantas daninhas, além de melhorar a qualidade e aumentar o rendimento da operação de semeadura da cultura seguinte, impedindo que a palha “em pé” cause embuchamento da semeadora ou enrosque em correntes. Em regiões tropicais, onde as condições de clima quente e úmido favorecem a rápida decomposição da palha, o manejo mecânico da fitomassa por meio de roçadoras e trituradores deve ser restrito a situações onde os restos culturais possam prejudicar a qualidade e o rendimento da operação de semeadura da cultura subsequente. Nas demais situações, prin-

principalmente quando a fitomassa das espécies vegetais apresenta rápida decomposição (por exemplo, leguminosas), o manejo via roçadora ou trituradores deve ser evitado, pois a fragmentação excessiva acelera a decomposição dos restos culturais, diminuindo ainda mais o tempo de permanência na superfície do solo, o que se constitui em dos principais fatores limitantes ao SPD nas regiões tropicais. Por outro lado, em regiões frias, onde a decomposição dos resíduos vegetais é lenta, a fragmentação dos mesmos pode ser vantajosa, especialmente para espécies com maior relação C/N, acelerando a mineralização dos nutrientes e sua disponibilização para as culturas subsequentes.

Cada espécie apresenta um momento ideal para manejo, de forma a atender a elevada produção de fitomassa e adição de nutrientes sem deixar sementes que podem torná-las invasoras nos cultivos de interesse econômico. Em geral, para a maioria das espécies anuais cultivadas para cobertura do solo, o manejo químico ou mecânico é indicado quando as mesmas encontram-se entre a floração plena e o início da formação das sementes. A exceção ocorre para a aveia, para a qual a melhor época para manejo é a fase de grãos leitosos. Nesses estádios, as espécies geralmente exibem maior acúmulo de matéria seca e nutrientes, além de não apresentarem ainda sementes viáveis que possam infestar as culturas subsequentes.

Outro aspecto importante se refere ao intervalo entre o manejo químico ou mecânico da espécie vegetal e a semeadura da cultura subsequente. O manejo com muita antecedência pode representar necessidade de re-aplicação de herbicidas, além de resultar em reduzida cobertura do solo, o que aumenta a infestação de plantas daninhas e favorece as perdas de água e solo por erosão hídrica. Por outro lado, um intervalo pequeno entre o manejo da espécie de cobertura ou pastagem e a implantação da cultura seguinte pode comprometer a qualidade da operação de semeadura, aumentando a ocorrência de embuchamentos e de falhas ocasionadas por sementes descobertas e/ou com pouco contato com o solo por causa da incorporação de palha no sulco de semeadura. Nesse caso, o estabelecimento e o desenvolvimento inicial da cultura subsequente

também podem ser prejudicados pelo efeito físico do sombreamento da palhada e pela liberação de aleloquímicos.

A definição do intervalo entre o manejo mecânico ou químico e a semeadura da próxima cultura deve levar em consideração a espécie vegetal antecessora, a quantidade de fitomassa no momento do manejo, os herbicidas utilizados na dessecação e as condições de chuva e temperatura no período. Para a maioria das espécies vegetais, esse intervalo deve ser o suficiente para que a fitomassa das mesmas seque por completo, facilitando o corte da palhada pelos discos da semeadora. Caso o manejo químico envolva a aplicação de 2,4-D, deve-se observar um intervalo mínimo de 10 dias entre a dessecação e a semeadura, visando evitar efeitos fitotóxicos do herbicida na soja. No caso de espécies vegetais que podem exercer efeito alelopático negativo sobre a soja, esse período deve ser maior. É o caso, por exemplo, da canola, cujo intervalo entre a colheita e a semeadura da soja deve ser de pelo menos 20 dias (Silva et al., 2011). Quando a quantidade de fitomassa é muito elevada, de modo a prejudicar a semeadura e o estabelecimento da soja, o intervalo entre o manejo e a semeadura também deve ser aumentado. Como exemplo, tem-se que o intervalo adequado entre a dessecação da braquiária *brizantha* e a semeadura da soja pode chegar a até 45 dias quando a forrageira apresenta grandes quantidades de fitomassa, superiores a 10 t/ha (Debiasi; Franchini, 2012).

Evolução e condução do SPD

A partir do momento que o produtor passa a adotar o SPD em substituição ao preparo convencional de solo, uma série de transformações ocorre no solo e no sistema de produção. Nem todos os benefícios advindos do SPD podem ser notados desde a sua implantação. Vantagens como as observadas em relação à conservação de solo (redução das perdas de água e solo por erosão) e ao maior armazenamento de água no solo, obtidas por meio da manutenção da cobertura e mínima mobilização na superfície, são logo percebidas. Vários outros benefícios serão obtidos com o passar do tempo, com a evolução e a estabilização do SPD. Resultados de pesquisa obtidos pela Embrapa Soja e por outras

instituições mostram que, nos primeiros anos após a adoção do SPD, a produtividade da soja nesse sistema é semelhante ou mesmo inferior ao preparo convencional (fase de estabilização). No entanto, com o passar do tempo, quando se alcança a estabilização do SPD e a expressão dos benefícios como incremento na matéria orgânica do solo e todos os aspectos positivos decorrentes disso, a resposta positiva em produtividade das culturas comerciais torna-se evidente. Estudos com base em experimentos de longo prazo, realizados pela Embrapa Soja, mostram que a duração da fase de estabilização do SPD é dependente da complexidade do modelo de produção adotado, relacionada à diversificação de culturas e à quantidade de fitomassa anualmente adicionada. Assim, a fase de estabilização do SPD pode variar de 6 a 12 anos dependendo do modelo de produção adotado. Nos modelos de produção diversificados e com alta adição de fitomassa o período é de aproximadamente 6 anos. Nos modelos de produção pouco diversificados e com baixa adição de fitomassa, a fase de estabilização persiste por até 12 anos (Franchini et al., 2012). Isso demonstra a relevância do esforço sucessivo e continuado para com a adequada condução do SPD, de forma que as melhorias alcançadas ao longo do tempo não sejam perdidas no curto prazo a partir da retomada de preparos de solo ou mesmo quando o balanço de carbono passa a ser negativo, acarretando em perda de matéria orgânica. O simples uso de grade para incorporar sementes de plantas de cobertura, combater plantas daninhas ou manejar resteva pode proporcionar perda de carbono equivalente a alguns anos de acúmulo.

É importante que seja feito um acompanhamento periódico dos indicadores de fertilidade e acidez do solo por meio de análise de solo. Como não são previstos preparos de solo a partir da implantação do SPD, as aplicações de corretivo passam a ser na superfície, o que limita a quantidade a ser distribuída em cada aplicação, tornando-as mais frequentes. Com relação a atributos físicos do solo, são perceptíveis as alterações em relação ao sistema convencional de preparo, como aumento da densidade do solo, em muitos casos em decorrência da redução da macroporosidade. Também é comum a elevação da resistência do solo à penetração (RP), medida por meio de penetrômetros. No entanto, para avaliar se tais al-

terações estão além do tolerado pelas culturas é preciso observar se as mesmas estão comprometendo o seu desempenho e limitando o seu desenvolvimento radicular. O melhor indicador de compactação do solo é a produtividade obtida pelas culturas e a estabilidade de produtividade ao longo do tempo, principalmente diante da ocorrência de déficit hídrico.

Compactação do solo

A compactação é definida como o processo de redução de volume de um solo não saturado por aplicação de pressão como tráfego de máquinas e animais, que supera a resistência da estrutura do solo, resultando na diminuição do espaço poroso e, como consequência, na expulsão de ar e rearranjo de partículas e microagregados (Debiasi et al., 2008). A condição física resultante do processo de compactação do solo é denominada grau ou estado de compactação, de forma que qualquer solo apresenta um determinado grau de compactação. Um solo é considerado compactado apenas quando a magnitude do grau de compactação ultrapassa determinado nível crítico, a partir do qual se observa limitação ao desenvolvimento e à produtividade das plantas.

Estudos conduzidos em SPD demonstram que o solo normalmente apresenta maior densidade e RP e menor espaço poroso, especialmente macroporos, em relação a áreas trabalhadas com preparo convencional de solo. Isso leva à interpretação de que a compactação de solo é maior em SPD, principalmente quando se aplica o nível crítico para a RP de 2 MPa. Mas deve ficar claro que as avaliações de RP devem ser ajustadas e interpretadas em função do teor de água no solo, e que em SPD consolidado os valores tolerados são superiores a 2 MPa. De acordo com literatura internacional e amparado por resultados obtidos em estudos desenvolvidos na Embrapa, solos argilosos, manejados em SPD, podem apresentar valores de RP de até 3,0 MPa (obtidos no teor de água equivalente à capacidade de campo) e elevação da densidade, especialmente na camada de 10 cm a 20 cm, sem influenciar significativamente o desempenho produtivo da soja (Moraes et al., 2014a). Isso ocorre porque o solo apresenta estrutura mais resistente e estável quando manejado em SPD, pela ausência de revolvimento por preparo, acúmulo das pressões aplicadas pelo tráfego de máquinas e aumento do teor de matéria

orgânica (Moraes et al., 2017). Por outro lado, o movimento de água e seu armazenamento no perfil são favorecidos em função da continuidade de poros verticais que atuam tanto na infiltração quanto em fluxos ascendentes de água em períodos de deficit hídrico (Moraes et al., 2016). Ressalta-se que, no SPD, a estrutura de solo mais consolidada o torna mais resistente e resiliente às pressões advindas dos pneus das máquinas agrícolas (Moraes et al., 2019).

A baixa diversificação de culturas, associada à intensificação dos sistemas de produção nas principais regiões produtoras de soja, tem resultado na compactação do solo. Particularmente nas regiões onde há o predomínio do sistema de produção com a sucessão milho de 2ª safra e soja, tem se observado o aumento da ocorrência de compactação na camada de 10 cm a 20 cm de profundidade. Além do aporte insuficiente de palha e raízes, a formação de camadas compactadas na sucessão soja/milho 2ª safra é favorecido pela realização das operações de colheita da soja e semeadura do milho durante os meses de janeiro e fevereiro, os mais chuvosos do ano, o que notadamente favorece a compactação.

Monitoramento da compactação do solo

A partir do histórico de produtividade da soja e de outras culturas componentes do sistema de produção, deve-se executar uma análise da evolução da produtividade nos diferentes talhões da propriedade. Além de atentar para tendências de diminuição de produtividade média ao longo do tempo é importante levar em consideração a variabilidade temporal do desempenho produtivo das culturas. De forma geral, a compactação do solo prejudica a estabilidade de produção tornando a produtividade da lavoura mais vulnerável a perdas em função de alterações na disponibilidade hídrica (veranicos). Assim, uma grande variabilidade da produtividade entre diferentes safras, com perdas elevadas em anos secos, é um forte indicador de compactação excessiva do solo. Uma vez caracterizados decréscimos e/ou alta variabilidade temporal da produtividade das culturas, o passo seguinte é verificar se os mesmos não são causados por problemas climáticos, pragas, doenças, plantas daninhas, deficiência de nutrientes, acidez do solo, uso de cultivares inadequadas,

entre outros. Excluídas essas possibilidades, a maneira mais prática de realizar um diagnóstico de campo a respeito do grau de compactação do solo é associar dados de RP com a avaliação qualitativa da estrutura do solo e a distribuição de raízes no perfil

A RP pode ser obtida com instrumentos acessíveis ao produtor (penetrômetros), que permitem inclusive obter medidas georreferenciadas, em diferentes profundidades e passíveis de mapeamento. O acompanhamento da RP na propriedade pode inclusive ser feita pelo produtor, ou pelo seu assistente de campo, o que a torna uma medida aplicável. No entanto, a interpretação dos resultados deve ser feita com cuidado, levando em consideração principalmente a influência do teor de água e da densidade do solo sobre os valores de RP. Além disso, a presença de grandes quantidades de raízes, bem como o aumento da resistência dos agregados em resposta ao incremento dos teores de matéria orgânica e à ausência de revolvimento (*age hardening phenomena*) (Moraes et al., 2017), são fatores que elevam os valores de RP sem necessariamente causar limitação ao crescimento de raízes e produtividade da soja, o que também ser considerado na interpretação dos resultados. Para fins de diagnóstico do grau de compactação do solo, a RP deve ser determinada em um teor de água do solo equivalente à capacidade de campo. Em SPD estabilizado, valores de RP (determinados na capacidade de campo) de até 3,0 MPa, associados à presença de raízes em subsuperfície, podem ser tolerados (Moraes et al., 2014a). No entanto, de acordo com os mesmos autores, em preparo convencional de solo, valores de RP (na capacidade de campo) acima de 2 MPa são considerados críticos ao desenvolvimento das culturas. Informações detalhadas sobre os diferentes tipos de penetrômetro, suas aplicações e limitações podem ser obtidas em Debiasi et al. (2008) e Moraes et al. (2014b).

Em função das dificuldades na interpretação dos valores de RP para fins de diagnóstico do estado de compactação do solo, indica-se a associação desse indicador com avaliações qualitativas da estrutura do solo e da distribuição das raízes no perfil. Quando a RP é mapeada utilizando ferramentas de agricultura de precisão, as avaliações qualitativas de

estrutura do solo e de distribuição de raízes no perfil podem ser direcionadas para regiões do talhão com altos valores de RP, permitindo assim confirmar ou não o diagnóstico de compactação excessiva. O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) é um dos métodos disponíveis para avaliar a qualidade estrutural da camada superficial, baseado em características detectadas visualmente em amostras dos primeiros 25 cm do perfil do solo (Ralisch et al., 2017). As avaliações nas amostras constam da observação de tamanho e forma dos agregados e torrões, presença ou não de feições de compactação ou outra modalidade de degradação do solo, forma e orientação das fissurações, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação de 1 a 6, em que "6" é indicativo de melhor condição estrutural, e "1" representa o solo totalmente degradado. Mais informações sobre esse método podem ser obtidas em <https://www.embrapa.br/dres>.

A distribuição de raízes poderá ser avaliada por meio da abertura de trincheiras, verificando-se a concentração do sistema radicular nas diferentes camadas até pelo menos a profundidade de 40 cm a 50 cm. Essa avaliação pode ser realizada na mesma trincheira utilizada para a coleta da amostra do DRES, aprofundando-a até a camada de interesse. Ressalta-se que, no SPD, é comum a concentração das raízes na camada superficial do solo (0-10 cm), de forma que o mais importante nessa avaliação é verificar a presença de raízes em camadas abaixo de 20 cm. A baixa presença de raízes abaixo de 20 cm de profundidade, associada à existência de raízes tortas e achatadas, são fortes indícios de compactação excessiva do solo. Pequenas deformações na raiz principal da soja são comuns em áreas sob SPD e, se não comprometerem o crescimento vertical das mesmas, não devem ser consideradas indicadoras de compactação do solo. Além do pouco crescimento das raízes em camadas subsuperficiais, o crescimento desuniforme das culturas e a drenagem lenta da água da chuva, também evidenciam compactação excessiva do solo.

No âmbito da agricultura de precisão, a utilização de mapas de produtividade das culturas e de condutividade elétrica, assim como de índices de vegetação (por exemplo, o índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI) determinados a partir de imagens de satélite e/ou obtidas por câmaras acopladas a veículos aéreos não tripulados (VANTs), podem auxiliar no monitoramento e diagnóstico do estado de compactação do solo em área de produção de soja. Atualmente, a principal aplicação destas ferramentas está na delimitação de áreas de interesse dentro dos talhões onde avaliações mais detalhadas (RP, DRES, distribuição de raízes, entre outros indicadores) devem ser realizadas, reduzindo assim o tempo, a mão de obra necessária e custos envolvidos no monitoramento da compactação do solo, além de contribuir para um diagnóstico mais preciso e confiável.

Manejo da compactação do solo

A compactação do solo no SPD deve ser manejada preferencialmente empregando métodos biológicos de melhoria da qualidade estrutural do solo. Com relação ao manejo biológico da compactação em SPD, existem dois enfoques diferentes. O primeiro refere-se à preservação e à melhoria da qualidade estrutural do solo no médio e longo prazos, por meio da adoção de modelos de produção diversificados, envolvendo espécies vegetais com alto potencial de adição de fitomassa e sistema radicular profundo e vigoroso. Nesse caso, o aumento do teor de matéria orgânica do solo associado à ação do sistema radicular resulta em uma estrutura de solo, mais resistente e com maior capacidade de recuperação ante as pressões aplicadas pelo tráfego de máquinas agrícolas. Além disso, modelos de produção diversificados proporcionam a formação de bioporos pela ação das raízes das plantas e da biota do solo. O outro enfoque relaciona-se à recuperação no curto prazo de solos com alto grau de compactação. Nesse caso, deve-se priorizar a inclusão de culturas com sistema radicular profundo e agressivo, para formação de bioporos contínuos e estáveis, com alta efetividade no armazenamento e na condução de ar e água. Para esse fim, podem ser utilizadas espécies como o nabo forrageiro, a aveia, o milheto, algumas espécies de sorgo, as crotalárias e as forrageiras tropicais perenes, como as pertencentes

aos gêneros *Urochloa* e *Panicum*. Ressalta-se ainda que plantas com sistema radicular abundante e profundo aceleram os ciclos de secamento e umedecimento do solo, que contribuem para o rompimento de camadas compactadas principalmente em solos argilosos manejados sob SPD.

A utilização de semeadoras equipadas com sulcadores do tipo haste ou facão para deposição do fertilizante proporciona o rompimento localizado de camadas compactadas na superfície do solo, contribuindo para o desenvolvimento inicial do sistema radicular da soja e proporcionando a deposição mais profunda do fertilizante. A probabilidade de resposta positiva da produtividade da soja ao uso de hastes sulcadoras é maior em anos com ocorrência de seca e/ou em áreas que apresentam compactação superficial do solo, situação bastante comum em sistemas de integração lavoura-pecuária. Para evitar a mobilização excessiva da superfície do solo pelas hastes sulcadoras, deve-se evitar a semeadura em condições de solo muito úmido, bem como utilizar velocidade de operação entre 4 km/h e 6 km/h. As correias regulagem e manutenção do disco de corte também são essenciais para reduzir a mobilização da superfície do solo e a frequência de embuchamentos. De modo geral, o disco de corte deve ser regulado de forma que a sua penetração no solo seja de, no máximo, 4 cm.

A mobilização periódica do solo no SPD por meio de escarificadores (por exemplo, a cada 3 ou 4 anos) não tem resultado em incrementos significativos da produtividade da soja, sendo a duração de seus efeitos sobre a estrutura do solo, na maioria dos casos, inferior a um ano (Franchini et al., 2011). Entretanto, a escarificação constitui-se em uma alternativa para romper camadas compactadas restritivas ao crescimento radicular das culturas, ou seja, pode ser adotada como prática corretiva, desde que associada ao uso de culturas com alto potencial de produção de fitomassa da parte aérea e raízes. Mesmo nesse caso, a tomada de decisão a respeito da escarificação deve ser realizada com conhecimento e critérios técnicos, pois se trata de uma operação cara e que, quando realizada sem necessidade, pode inclusive reduzir a produtividade de culturas como a soja e o milho (Debiasi et al., 2010). Primeiramente, de-

ve-se ter um diagnóstico preciso de que o grau de compactação do solo esteja prejudicando a resposta produtiva da cultura. Além disso, o escarificador deve ser adequado ao uso em SPD, ou seja, deve ser equipado com discos de corte de palha, ponteiras estreitas e rolo destorroador, para evitar o uso de grade como operação complementar. Essa operação deve ser executada preferencialmente após a soja e antecedendo uma cultura com grande capacidade de produção de fitomassa e que possua sistema radicular profundo e vigoroso, visando estabilizar a porosidade gerada mecanicamente. O escarificador deve ser regulado em relação ao espaçamento entre hastes, de forma que esse fique entre 1,2 e 1,5 vezes a profundidade que se pretende fazer a operação. Da mesma forma, a profundidade máxima de trabalho do escarificador não poderá ser maior do que 5 a 7 vezes a largura da ponteira, que corresponde à profundidade crítica de trabalho de ferramentas de preparo do tipo haste. Profundidades de trabalho maiores do que a crítica resultam em um grande aumento da demanda de potência sem incremento proporcional na mobilização do solo. Adicionalmente, a escarificação deve ser realizada quando o solo estiver com um teor de água equivalente à friabilidade (quando um torrão coletado no centro da camada a ser trabalhada, ao ser pressionado entre o polegar e o indicador, se romper com leve pressão com mínima aderência de solo aos dedos), visando um rompimento eficaz do solo entre as hastes do equipamento, sem a formação de torrões excessivamente grandes. Ressalta-se que o emprego de uma operação mecânica para reverter compactação de solo, como é o caso da escarificação, não pode ser uma decisão isolada do manejo do sistema. Quando utilizada, deve ser acompanhada de uma mudança conceitual, passando-se a priorizar boas práticas de manejo do solo, como diversificação de espécies com sistema radicular abundante e elevada adição de fitomassa ao solo.

Sistema convencional de preparo do solo

O preparo convencional de solo é aquele realizado com implementos que promovem mobilização total da superfície do solo, como arados de discos ou aivecas, escarificadores, grades aradoras e, em alguns casos, enxadas rotativas. São indiscutíveis os benefícios do SPD na conservação do solo e na melhoria dos sistemas de produção, principalmente

com a redução do número de operações e a maior velocidade de execução, a manutenção de cobertura do solo por restos culturais e plantas de cobertura, sendo, portanto o sistema preferencial em relação ao preparo convencional. Porém, nas condições em que se faz necessário o preparo convencional de solo, o mesmo deve ser realizado com critério, observando-se o teor de água adequado para as operações, equipamentos bem regulados, de forma a preservar o máximo de restos culturais na superfície sem prejudicar a implantação da cultura na sequência.

O preparo de solo pode ser denominado de primário, quando realizado por aração, escarificação ou gradagem pesada (aradora). A profundidade da camada mobilizada é determinada pelas características do equipamento, mas normalmente fica entre 15 cm e 30 cm. O preparo do solo com grades aradoras normalmente é o mais utilizado pela maior capacidade efetiva de trabalho associada a sua largura útil e à profundidade limitada de operação. No entanto, do ponto vista da conservação do solo, deve-se priorizar operações como a escarificação, que tem maior profundidade efetiva, promove menor desagregação do solo e resulta em maior quantidade de resíduos na superfície do solo. O preparo realizado por meio de arados, seja de discos ou aivecas, promove maior inversão de camadas, conhecida como “tombamento” do solo, enterrando a cultura de cobertura ou os resíduos da superfície, mas podem trazer para a superfície camadas inferiores mais ácidas, com maiores concentrações de alumínio trocável (Al^{3+}) e menores teores de macronutrientes. O preparo secundário do solo é realizado antes da semeadura por meio de grades leves, também conhecidas como grades niveladoras, com o objetivo de destorroar e promover um ajuste do microrelevo deixado pelos equipamentos de preparo primário.

Condições de umidade para o preparo do solo

No momento da realização de qualquer operação de preparo de solo é importante observar se o conteúdo de água no solo é adequado para garantir o rendimento e a qualidade do trabalho realizado. Solos argilosos com elevado conteúdo de água no momento do preparo aderem-se aos implementos, aumentando a demanda de potência, reduzindo a qualida-

de do preparo realizado, além de favorecer a compactação subsuperficial. A realização da escarificação com o solo muito úmido prejudica o rompimento da massa de solo entre as hastes do equipamento, praticamente inviabilizando a operação. Por outro lado, também é preciso evitar o preparo com o solo muito seco, porque essa condição aumenta a demanda de potência para romper a estrutura do solo pelo implemento, além do número de gradagens niveladoras no preparo secundário, para se obter o nível suficiente de destorroamento que permita uma operação de semeadura adequada. Caso seja imprescindível o preparo primário com o solo seco, recomenda-se a realização do nivelamento e o destorroamento após a ocorrência de ao menos uma chuva.

De modo geral, o conteúdo de água equivalente à condição de solo friável é o mais adequado para a realização das operações de preparo do solo. Conforme já descrito no item “Manejo da compactação do solo”, esta condição pode ser facilmente identificada no campo.

Compactação do solo no preparo convencional

A compactação ocorre quando o solo é submetido a pressões que deformam a estrutura por meio do rearranjo das partículas e agregados, com a consequente redução e descontinuidade do espaço poroso. O preparo de solo realizado continuamente pelo mesmo tipo de implemento, na mesma profundidade, e especialmente com alto conteúdo de água no solo, pode resultar no surgimento de uma camada compactada logo abaixo da profundidade de mobilização. O tráfego do trator dentro do sulco aberto pelo arado, imprime ao solo uma pressão abaixo da camada de ação do implemento, que ao longo dos anos vai se acumulando até resultar em uma camada compactada. Essa camada compactada, situada logo abaixo do limite de ação de um implemento, comumente denomina-se de “pé de grade” ou “pé de arado”. Em lavouras conduzidas com preparo convencional de solo, além da compactação na subsuperfície, por estar fora da camada de ação do implemento, ainda se tem a desagregação continuada da camada superficial do solo com os preparos sucessivos, o que o torna também mais suscetível à compactação superficial provocada pelo tráfego de máquinas.

Os procedimentos para monitoramento e identificação da compactação do solo encontram-se descritos no item “Monitoramento da compactação do solo”. No caso do preparo convencional, ressalta-se a importância da correta identificação do limite inferior da camada compactada, que servirá de base para o planejamento das operações de descompactação do solo. Normalmente, o limite inferior da camada compactada não ultrapassa 30 cm de profundidade.

Rompimento de camada compactada no sistema convencional

O rompimento de camadas compactadas de solo pode ser realizado por ação mecânica de implementos de preparo como arados e escarificadores. Para que essa operação seja realizada de forma efetiva, o implemento empregado deve atuar logo abaixo do limite inferior da camada com problemas de compactação. Em áreas com o uso frequente de grades aradoras ou niveladoras, o rompimento da camada de solo compactada pode ser feito por meio de aração, visto que essa operação tem capacidade de atuar em camada mais profunda que uma grade. Por sua vez, em áreas onde são realizadas arações frequentes, indica-se o uso de escarificadores, regulados para atuar em maior profundidade do que as arações. De modo geral, os escarificadores são mais frequentemente empregados em operações de mobilização do solo com intuito de eliminar a compactação. No entanto, para que se obtenha êxito nessa operação, é preciso atentar para o espaçamento entre hastes, a profundidade máxima de operação e o conteúdo de água do solo, conforme descrito no item “Manejo da compactação do solo”.

A efetividade da descompactação mecânica, por meio de preparos, está condicionada ao manejo subsequente aplicado ao solo. São indicadas, em sequência a essa operação, a implantação de culturas com alta produção de fitomassa e densidade de plantas e com sistema radicular abundante e agressivo, como, por exemplo, a aveia preta em regiões subtropicais ou braquiárias em regiões tropicais, além de redução da intensidade dos preparos de solo subsequentes. O efeito de operações mecânicas isoladas na descompactação do solo é curto. Estudos mostram que em até um ano, todo o efeito de aumento na porosidade e redução da densidade do solo é revertido. Sendo assim, é fundamental

que o produtor passe por uma mudança de conceito, revendo sua forma de conduzir o sistema de produção, entendendo que o resultado de um sistema bem conduzido é mais eficaz e menos oneroso. Para tanto, é preciso adotar novas formas de manejo, priorizando ações como rotação de culturas, manutenção de cobertura do solo e redução da intensidade de mobilização do solo.

Diversificação de espécies vegetais

Independente do sistema de manejo do solo adotado (SPD ou preparo convencional), a diversificação de espécies vegetais por meio da sucessão, rotação e/ou consorciação de culturas é essencial para a sustentabilidade do sistema de produção de soja. A diversificação de culturas tanto pode ser feita com lavouras anuais exclusivas, quanto com espécies forrageiras perenes, em sistemas integrados de produção.

No caso do SPD, a diversificação de espécies vegetais constitui um dos seus fundamentos básicos. Essa prática ameniza os problemas fitossanitários nas espécies destinadas à produção de grãos. Espécies produtoras de grande quantidade de palha e raiz, além de promover a reciclagem de nutrientes e aumentar a proteção do solo contra a ação dos agentes erosivos, melhora a qualidade física, química e biológica do solo, por meio do efeito de raízes e adição de matéria orgânica. A diversificação da cobertura vegetal constitui-se numa prática auxiliar no controle de plantas daninhas ocorrentes na soja, principalmente nos primeiros anos de implantação da semeadura direta. Maior detalhamento a respeito da diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção de soja e seu efeito no manejo do solo são apresentados especificamente no capítulo 5 “Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção”.

Referências

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. **Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 20 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 63).

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 603-612, 2010.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. Controle de enxurrada em sistema plantio direto. In: DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. (Ed.). **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. p. 61-77.

FEBRAPDP. **Superfície sob plantio direto**. 2019. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. da; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 50 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. ; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. Enxurrada em sistema plantio direto. In: DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. (Ed.). **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. p. 47-54.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 288-298, 2014a.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; LUZ, F. B. da. Age-hardening phenomena in an Oxisol from the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, n. 170, p. 27-37, 2017.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; LUZ, F. B. da. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, n. 155, p. 351-362, 2016.

MORAES, M. T. de; LUZ, F. B. da; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Soil load support capacity increases with time without soil mobilization as a result of age-hardening phenomenon. **Soil & Tillage Research**, n. 186, p. 128-134, 2019.

MORAES, M. T. de; SILVA, V. R. da; ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R. Use of penetrometers in agriculture: a review. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 179-193, 2014b.

PRUSKI, F. F. **Terraço 4.1** - Dimensionamento e manejo de sistemas de conservação de solos e drenagem de superfície. 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/GPRH/Terraço41/InstaladorTerraço4_1.exe>. Acesso em: 15 jul. 2019.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo** - DRES. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390).

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; ALMEIDA, R. G. de. **Sistema São Mateus** - Sistema de integração lavoura-pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 186).

SILVA, J. A. G.; MOTTA, M. B.; BIANCHI, C. A. M.; CRESTANI, M.; GAVIRAGHI, J.; FONATANIVA, C.; GEWBER, E. Alelopatia da canola sobre o desenvolvimento e a produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 17, p. 428-437, 2011.