

Benefícios da adoção do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças



Foto: Carlos Eduardo Pacheco Lima

ISSN 1415-2312
Setembro, 2017

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

Documentos 156

Benefícios da adoção do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças

Carlos Eduardo Pacheco Lima

Nuno Rodrigo Madeira

Juscimar da Silva

Mariana Rodrigues Fontenelle

Raphael Augusto Castro e Melo

Ítalo Moraes Rocha Guedes

Embrapa Hortaliças
Brasília, DF
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Hortaliças

Rodovia BR-060, trecho Brasília-Anápolis, km 9

Caixa Postal 218

Brasília-DF

CEP 70.351-970

Fone: (61) 3385.9000

Fax: (61) 3556.5744

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

www.embrapa.br

Comitê Local de Publicações da Embrapa Hortaliças

Presidente: *Jadir Borges Pinheiro*

Editora Técnica: *Mariana Rodrigues Fontenelle*

Secretária: *Gislaine Costa Neves*

Membros: *Carlos Eduardo Pacheco Lima*

Raphael Augusto de Castro e Melo

Ailton Reis

Giovani Olegário da Silva

Iriani Rodrigues Maldonade

Alice Maria Quezado Duval

Jairo Vidal Vieira

Rita de Fátima Alves Luengo

Supervisora Editorial: *Caroline Pinheiro Reyes*

Bibliotecária: *Antônia Veras de Souza*

Editoração eletrônica: *André L. Garcia*

1ª edição

1ª impressão (2017): 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 Hortaliças

Benefícios da adoção do sistema de plantio direto de hortaliças / Carlos Eduardo Pacheco Lima ... [et al.]. - Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017.

48 p. : il. color. ; 21 cm x 27 cm. (Documentos / Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312 ; 156).

1. Plantio direto. 2. Agricultura sustentável. 3. Horticultura. I. Lima, Carlos Eduardo Pacheco. II. Madeira, Nuno Rodrigo. III. Silva, Juscimar da. IV. Fontenelle, Mariana Rodrigues. V. Melo, Raphael Augusto Castro e. VI. Guedes, Ítalo Moraes Rocha. VII. Embrapa Hortaliças. VIII. Série.

CDD 635.642

© Embrapa, 2017

Autores

Carlos Eduardo Pacheco Lima

Engenheiro ambiental, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa, Brasília, DF

Nuno Rodrigo Madeira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Juscimar da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa, Brasília, DF

Mariana Rodrigues Fontenelle

Bióloga, doutora em Microbiologia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Raphael Augusto Castro e Melo

Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Ítalo Moraes Rocha Guedes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa, Brasília, DF

Sumário

Introdução.....	9
Mitigação de impactos ambientais negativos dos sistemas de produção de hortaliças pelo uso do SPDH.....	13
Redução da perda de solo, água e nutrientes devido ao uso do SPDH .	14
Melhoria dos teores de matéria orgânica do solo.....	17
Melhoria da fertilidade do solo	19
Controle da temperatura do solo	20
Redução da necessidade de água para irrigação	22
Manutenção e/ou melhoria dos níveis de produtividade	23
Considerações finais.....	24
Referências	25

Benefícios da adoção do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças

Carlos Eduardo Pacheco Lima

Nuno Rodrigo Madeira

Juscimar da Silva

Mariana Rodrigues Fontenelle

Raphael Augusto Castro e Melo

Ítalo Moraes Rocha Guedes

Introdução

A importância da sustentabilidade ambiental tem sido frequentemente discutida e mostrada pelos mais diversos setores da sociedade. A necessidade de buscar sistemas produtivos sustentáveis tem sido reconhecida também na agricultura. Aspectos como a redução do uso de insumos químicos, a adoção de sistemas que mantenham ou aumentem a qualidade do solo, reduzam a necessidade do uso de água para irrigação, melhorem o microclima de cultivo e, ao mesmo tempo, melhorem os índices de produtividade estão na vanguarda da construção da agricultura sustentável.

Os sistemas produtivos de hortaliças são normalmente conduzidos com intenso revolvimento de solo, uso de insumos químicos e água. Adicionalmente, a condução, em boa parte dos cultivos hortícolas, de mais de um ciclo de cultivo por ano, aliado à ausência de rotação/sucessão de culturas, tem levado a um cenário de degradação das terras agrícolas utilizadas para este fim. A perda da qualidade do solo

tem sido uma das principais consequências observadas em áreas cultivadas com hortaliças utilizando sistemas com alto revolvimento do solo, independentemente da adoção dos sistemas orgânicos ou convencional (VALARINI et al., 2011).

O cenário de degradação apresentado tem levado a perdas dos teores de matéria orgânica (LIMA et al., 2016) e de nutrientes (DE MARIA et al., 1999), além da biomassa e da atividade microbiana do solo (ALVES et al., 2011), em áreas de produção agrícola. O registro de maior temperatura do solo em áreas sob cultivo convencional, quando comparado àquelas em sistema de plantio direto (FURLANI et al., 2008), pode ainda levar ao aumento das taxas de evaporação e evapotranspiração, sendo esta uma das razões pela qual tem sido encontrado que a necessidade de uso de água de irrigação é maior no primeiro sistema de manejo citado (MAROUELLI et al., 2006; 2010). O aumento da incidência de plantas daninhas (CASTRO et al., 2005) é outro exemplo de problemas comumente citados como decorrentes do uso de sistemas intensivos de cultivo. Tudo isso é capaz de instalar um ciclo que leva à necessidade de um frequente aumento do uso dos insumos químicos e de água, além de promover, em situações extremas, a necessidade de abandono de áreas antigas e abertura de novas áreas de cultivo, tendo, portanto, um forte impacto ambiental negativo.

Uma das alternativas para o aumento da sustentabilidade dos cultivos agrícolas é a adoção de sistemas conservacionistas de produção. Dentre aqueles de maior uso, ao longo do tempo, sobretudo para grãos, está o Sistema de Plantio Direto (SPD). O uso do SPD nos cultivos agrícolas têm tido, por exemplo, reflexos positivos quando adotados em médio e/ou longo prazo, na melhoria da estrutura dos solos (ASSIS; LANÇAS, 2005), no incremento dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) e de suas frações (CARNEIRO et al., 2009) e na melhoria da fertilidade (DE MARIA et al., 1999).

Em hortaliças, tal sistema tem sido chamado de Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) e tem tido experiências recentes e crescentes (MELO et al., 2016). Esse sistema pode ser entendido como um sistema de manejo sustentável do solo e da água que visa otimizar a expressão do potencial genético das plantas cultivadas (FREITAS, 2002). Ele é fundamentado em seguintes pilares: revolvimento mínimo do solo, restrito a cova ou sulco de plantio; a diversificação de espécies pela rotação, sucessão e consorciação de culturas; e a manutenção de resíduos vegetais de plantas de cobertura durante todo o ciclo de cultivo (FREITAS; LANDERS, 2014).

A presente publicação tem como objetivo apresentar alguns benefícios ambientais do uso do SPDH. Os resultados apresentados são, em parte, fruto de pesquisas conduzidas na Embrapa Hortaliças. Serão citados também exemplos de trabalhos correlatos conduzidos por outras instituições. Com menor frequência serão citados exemplos de benefícios do uso do SPD em culturas não hortícolas.



Fotos: Nuno Rodrigo Madeira

Figura 1. Exemplos de Sistema de Plantio Direto de Tomate. (A) Tomate indústria; (B) Tomate mesa.

Fotos: Nuno Rodrigo Madeira



Figura 2. Exemplo de sistema de plantio direto de cebola.

Fotos: Nuno Rodrigo Madeira

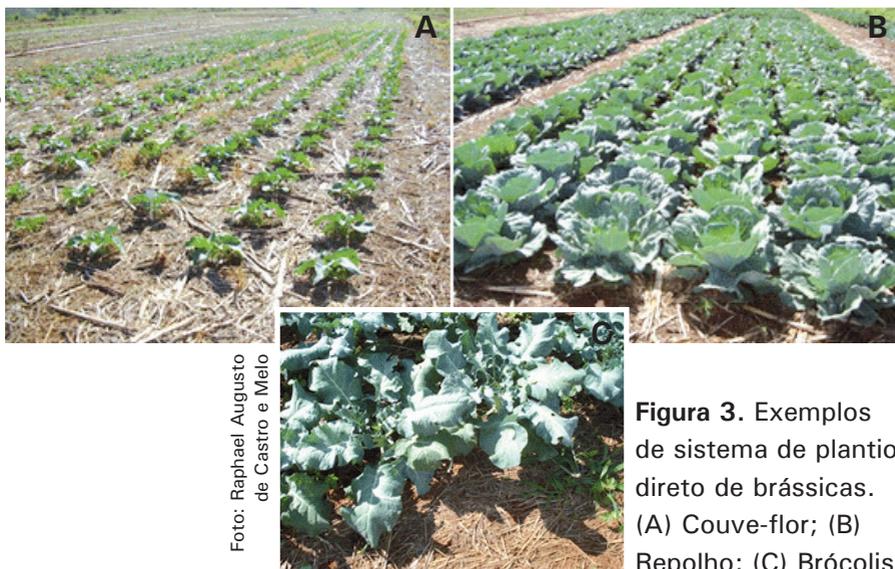
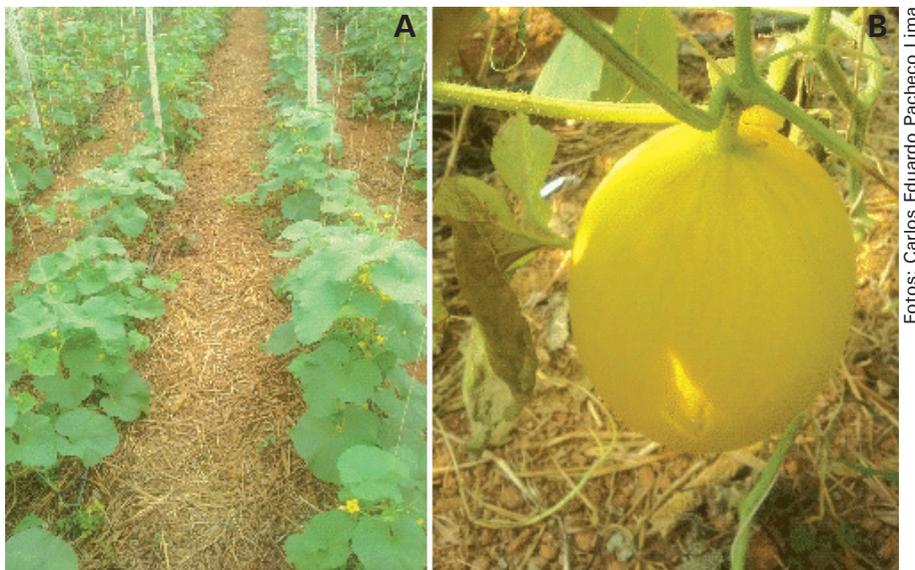


Foto: Raphael Augusto de Castro e Melo

Figura 3. Exemplos de sistema de plantio direto de brássicas. (A) Couve-flor; (B) Repolho; (C) Brócolis



Fotos: Carlos Eduardo Pacheco Lima

Figura 4. Exemplos de sistema de plantio direto de melão em ambiente protegido. (A) Visão geral; (B) Fruto em estado avançado de maturação.

Mitigação de impactos ambientais negativos dos sistemas de produção de hortaliças pelo uso do SPDH

Os impactos ambientais do uso do SPDH foram avaliados por Lima et al. (2014). Os autores utilizaram, para tal finalidade, um sistema desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente, chamado Ambitec-Agro, bem como as recomendações constantes em Rodrigues et al. (2003). Os resultados mostraram que impacto ambiental positivo foi observado quando do uso do SPDH em comparação com os sistemas convencionais de produção de hortaliças, segundo observações efetuadas por técnicos responsáveis pela manutenção de áreas cultivadas com esses sistemas. O principal impacto ambiental positivo observado foi a melhoria do indicador Uso de Recursos Naturais, sobretudo devido à melhoria da qualidade do solo. Outros impactos

positivos do uso do SPDH foram citados como sendo: melhoria da qualidade do ar; redução da necessidade de água para irrigação; redução do uso de eletricidade (principalmente pela redução da necessidade do uso de sistemas de irrigação); redução da frequência e do tipo de agrotóxicos utilizados; redução do uso de NPK hidrossolúvel e da necessidade de calagem; recuperação de solos degradados.

O trabalho citado no parágrafo anterior pode servir como guia para a seleção, proposição e condução de pesquisas mais detalhadas sobre os efeitos do uso do SPDH para cultivo de hortaliças sobre os diferentes compartimentos ambientais. Abaixo, serão citados alguns resultados de pesquisas correlatas já realizadas.

Redução da perda de solo, água e nutrientes devido ao uso do SPDH

O uso de sistemas que utilizam elevado revolvimento e que não mantenham cobertura do solo pode levar à sua destruturação (TAVARES FILHO; TESSIER, 2009), reduzir a infiltração de água (ZWIRTES et al., 2011) e aumentar o escoamento superficial, levando a uma maior perda de solo, água e nutrientes por erosão (CAIXETA et al., 2009; SOUZA, 2013). A erosão hídrica pode ser entendida como o desprendimento e arraste acelerado de partículas de solo, causada pelo movimento da água (OLIVEIRA et al., 2012), sendo potencializada pelo aumento da intensidade do escoamento superficial. Ainda é muito comum, entretanto, o uso de sistemas de preparo de solo inapropriados ou sem a adoção de práticas conservacionistas em áreas de produção de hortaliças.

Wischmeier e Smith (1978) relacionam a perda de solo com fatores como erosidade da chuva, comprimento do declive, declividade, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas. A erosão hídrica está relacionada ao preparo do solo, uma vez que este pode remover os resíduos vegetais e alterar o microrelevo, aumentando a exposição da superfície do solo à ação da chuva e da enxurrada

(OLIVEIRA et al., 2012). Bertol et al. (2007a) discutem que a eficiência do SPD em controlar as perdas de solo por erosão é maior do que aquela de controlar a perda de água, nutrientes e carbono orgânico.

Originalmente a adoção do SPD para o cultivo agrícola tinha como principal objetivo a redução das taxas erosivas. Para tal, o SPD foi proposto como forma de melhoria da qualidade e aumento da proteção do solo. Estes processos seriam consequência da utilização dos três pilares do SPD, revolvimento mínimo, cobertura do solo e rotação de culturas. De fato, diversos trabalhos mostram que o SPD é um sistema capaz de reduzir as perdas de solo quando comparados aos sistemas convencionais de produção (BERTOL et al., 2007b; GILLES et al., 2009; BAGATINI et al., 2011).

Em cultivos de hortaliças, Caixeta et al. (2009) e Souza et al. (2014) mostram que o SPDH foi capaz de reduzir as perdas de solo, água e nutrientes por erosão. O primeiro período de avaliação foi de 01/01/2008 a 30/04/2008 (CAIXETA et al., 2009), enquanto o segundo período foi de 17/12/2011 a 27/04/2012 (Fernandes et al., 2014). No primeiro período o SPDH reduziu em 95,00% a perda de solo quando comparada àquela medida no Sistema de Plantio Convencional (SPC) e em 88,95% em relação à perda encontrada no Plantio com Preparo Reduzido (PPR). Já as perdas de água no SPDH foram 83,11% menores em relação às encontradas no SPC e 81,41% em relação ao PPR. No segundo período, porém, as perdas de solo no SPDH foram 66,43% menores no SPDH em comparação com o SPC e 37,33% quando comparado ao PPR. As perdas de água, por sua vez, foram 90,68% menores no SPDH em relação ao SPC e 82,94% em comparação ao PPR.

As variações dos resultados observadas nos dois períodos avaliados podem estar relacionadas à alta variabilidade encontrada em experimentos de campo, porém, o mais provável é que os números reflitam variações climáticas ocorridas ou, até mesmo, características intrínsecas aos próprios cultivos agrícolas (cebola e repolho).

No primeiro período foi observada precipitação total de 1130,20 mm e média de 9,42 mm.dia⁻¹. Já para o segundo período esses números foram de 764,00 mm e 4,40 mm.dia⁻¹. Outro provável fator influente nos resultados foi a intensidade das chuvas ocorridas nos dois períodos distintos. No primeiro, por exemplo, ocorreram doze eventos de precipitação diária acima de 30 mm, sendo que destes, quatro registraram índice acima de 50 mm. Os dois maiores registros de precipitação, nesse caso, foram de 85 mm e 93,2 mm em um dia. Já no segundo período, foram registradas apenas quatro ocorrências de precipitação diária superior a 30 mm, sendo que nenhum deles superou os 50 mm.

A maior intensidade da chuva no primeiro período pode ter levado a um maior impacto das gotas de chuva no solo, liberando mais efetivamente suas partículas, principalmente no SPC, aumentando assim a perda de solo quando comparada aos sistemas conservacionistas. Já no segundo período, a menor intensidade das chuvas pode ter influenciado o menor efeito do SPDH em relação aos sistemas conservacionistas. Outra questão a ser considerada é a maior cobertura de solo provocada pelas largas folhas de repolho (segundo período de avaliação) quando comparada àquela proporcionada pelas plantas de cebola (primeiro período de avaliação). A maior proteção conferida pode também ter contribuído para as menores perdas de solo e de água mensuradas.

Fotos: Ítalo Lüdke



Figura 5. Exemplos de preparo de solo inadequados (morro abaixo) em área de produção de hortaliças com relevo montanhoso.

Fica claro, portanto, que o SPDH tem potencial para reduzir as perdas de solo e água por erosão. Cabe mencionar, entretanto, que o sistema de plantio direto deve ser adotado preferencialmente em conjunto com outras práticas conservacionistas, como cultivo em nível e o terraceamento. Essa observação se torna ainda mais pertinente quando se considera o cultivo agrícola em regiões com relevo acidentado.



Fotos: Nuno Rodrigo Madeira

Figura 6. Exemplos de processos erosivos em áreas de produção de hortaliças.

Melhoria dos teores de matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser definida como todo o material orgânico de origem biológica, vivo ou morto, que passa em peneira de 2 mm (DICK et al., 2009). A MOS pode ser considerada

como uma das variáveis mais eficientes para mensuração da qualidade do solo (QS), pois o seu incremento normalmente tem reflexos positivos na qualidade física, química e biológica dos solos (VEZZANI; MIELNCIZUK, 2009).

Grosso modo, a MOS pode ser dividida em frações lábeis e não-lábeis. A MOS lábil é composta por material de menor complexidade e menos estável. São exemplos de MOS lábil aquela particulada, que guarda semelhança com o material orgânico que a originou, e/ou aquelas moléculas menos complexas como ácidos orgânicos de baixa complexidade, aldeídos fenólicos, açúcares, aminoácidos, entre outras. Já a MOS não-lábil pode ser exemplificada por moléculas mais complexas como as substâncias húmicas e o material orgânico carbonizado.

Os problemas relacionados à perda de MOS em solos tropicais ganham especial importância em função das altas temperaturas e altas taxas de precipitação observadas. Estas variáveis têm o potencial de acelerar as reações químicas e o metabolismo de microrganismos decompositores, levando a um rápido decréscimo dos teores de MOS quando são praticados usos não sustentáveis da terra (SOLLINS et al., 1996). Porém, o uso de sistemas conservacionistas de produção agrícola pode resultar em manutenção de maiores teores de MOS quando comparados com sistemas com intenso revolvimento de solo (CONCEIÇÃO et al., 2013; LIMA et al., 2016).

Diversos trabalhos têm demonstrado o potencial do SPD em incrementar os teores de matéria orgânica do solo (MOS) (PIVA et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2013; REIS et al., 2014). Entre outros fatores, o potencial de aumentar os teores de MOS pelo uso do SPD está ligado ao aumento do aporte de material vegetal ao solo (AMADO et al., 2001), ao manejo e tipos de plantas de cobertura (GONÇALVES; CERETTA, 2003; BAYER et al., 2003), à melhoria da qualidade física do solo (COSTA et al., 2004) e ao aumento da humificação da MOS (FONTANA et al., 2006).

Diversos são os fatores que levam à estabilização da MOS e, conseqüentemente, ao aumento sustentável de seus teores em logo prazo. Six et al. (2002) entende que tal estabilização se dá devido à recalitrância de suas moléculas, à ligação à superfície dos minerais de argila ou pela inacessibilidade aos microrganismos quando oclusa em agregados do solo.

Recentemente, trabalhos realizados em áreas de produção de hortaliças têm mostrado claramente o potencial que os sistemas conservacionistas de produção têm de melhorar os teores de MOS quando comparado aos sistemas convencionais. Fernandes et al. (2014) verificaram efeitos positivos em superfície sobre frações lábeis da MOS e sobre o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), após cinco anos do uso de sistemas conservacionistas para produção de hortaliças (SPDH e PPR). Lima et al. (2016), verificou que estes sistemas conservacionistas foram capazes de melhorar os teores de MOS até 30 cm de profundidade, apresentando efeitos positivos sobre frações lábeis e não-lábeis. A manutenção de maiores teores de MOS em SPDH está ainda relacionada às plantas de cobertura utilizadas, sendo que o consórcio gramínea e leguminosa (milho e mucuna-cinza) favoreceu maior aporte de frações menos estáveis da MOS quando comparado à gramínea solteira (LIMA et al., 2016). Já Fontenelle et al. (2016) mostraram que a adoção de sistemas conservacionistas (SPDH e cultivo mínimo – CM) de manejo de solo utilizados para produção de melão em cultivo protegido foram capazes de manter, ao longo do ciclo de cultivo, os teores de CBM registrados inicialmente. Já o sistema convencional de produção registrou forte queda destes teores ao longo do ciclo. O conjunto dessas informações demonstra a sustentabilidade dos sistemas conservacionistas de produção de hortaliças em manter melhores níveis de MOS que os sistemas convencionais.

Melhoria da fertilidade do solo

O SPD tem se mostrado capaz de promover o enriquecimento nutricional de solos destinados para produção agrícola (SANTOS et al.,

2008). Entretanto, esses mesmos autores mostraram que o uso do SPD pode levar a uma maior acidez do solo, em razão, principalmente, da realização da fertilização e correção do solo apenas em superfície, bem como a longos períodos sem fazê-lo. Entretanto, Vieira et al. (2012) não verificaram efeitos deletérios dessa maior acidez promovida pelo SPD. Isso se deve à, em longo prazo, manutenção de maiores teores MOS que é capaz de promover um aumento da complexação de alumínio trocável, tornando-o pouco disponível para as plantas e, conseqüentemente, com baixo potencial de causar fitotoxidez.

Em cultivo de hortaliças, no quinto ano de adoção do SPDH em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, foi verificado maior acidez do solo nos tratamentos que utilizaram este sistema do que naquele onde o SPC foi adotado. Foram ainda observados maiores teores de P, Ca e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em superfície. Portanto, tais resultados estão de acordo com aqueles mencionados no parágrafo anterior, demonstrando sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo e, conseqüentemente, prover um sistema mais sustentável de produção de hortaliças.

Cabe citar que a melhoria dos níveis de fertilidade do solo ainda está ligada ao uso das plantas de cobertura. Diversos trabalhos têm demonstrado o alcance de melhores níveis de fertilidade quando gramíneas são intercaladas com leguminosas. Entretanto, em trabalhos conduzidos na Embrapa Hortaliças, não foi possível confirmar tal afirmação, provavelmente devido ao curto tempo de condução do experimento.

Controle da temperatura do solo

Os estresses ambientais causam perdas importantes nos cultivos agrícolas no mundo (DE LA PEÑA; HUGHES, 2007) e a temperatura é uma das variáveis climáticas de maior importância. Num

cenário de mudanças climáticas espera-se ainda forte aumento da influência negativa de processos como o aumento da temperatura, a limitação de água disponível para irrigação, inundação de terrenos e a salinização do solo sobre a produção de hortaliças (DE LA PEÑA; HUGHES, 2007).

A adoção de sistemas conservacionistas e o manejo das plantas de cobertura podem resultar em menor amplitude térmica e ocorrência de temperaturas extremas (FURLANI et al., 2008), melhorando o microclima de cultivo. A temperatura do solo influencia atributos químicos, físicos e biológicos do solo, tornando o ambiente mais adequado para os cultivos agrícolas (MOTA, 1989). O controle da temperatura do solo pode resultar em melhor absorção de nutrientes (CASTRO, 1989), maior quantidade de raízes (ROSOLEM et al., 1992) e maior umidade do solo (SALTON; MIELNICZUK, 1995).

O uso do SPDH resultou em redução da temperatura de um Latossolo Vermelho Distrófico até 10 cm de profundidade, independente da planta de cobertura utilizada em cultivo de brócolis cabeça única (MELO et al., 2010). O maior decréscimo da temperatura do solo encontrada pelos referidos autores foi observado em superfície, 2,3 °C em média. A 5 cm e 10 cm de profundidade, respectivamente, as maiores reduções de temperatura do solo, em relação ao SPC, foi de 2 °C e 1,3 °C. Em outro experimento, o PPR e o SPDH também foram capazes de reduzir a temperatura de um Latossolo Vermelho Distrófico utilizado para o cultivo de brócolis em comparação ao SPC até 15 cm de profundidade. As médias de temperatura do solo foram, respectivamente, 4,26 °C, 2,56 °C, 1,47 °C e 0,88 °C menor, em superfície e nas profundidades 5 cm, 10 cm e 15 cm. Já a adoção do PPR manteve a temperatura do solo 4,48 °C, 2,80 °C, 1,70 °C e 0,98 °C menor, respectivamente, para aquelas profundidades citadas previamente. Não houve, contudo, diferença estatística significativa entre as temperaturas do solo medidas no SPDH e no PPR.



Figura 7. Exemplo de medição de temperatura do solo em sistemas de produção de hortaliças.

Redução da necessidade de água para irrigação

A disponibilidade hídrica é um tema de suma importância para a manutenção das atividades agrícolas. Entretanto, num cenário de mudanças climáticas e grande contingente populacional, além de desenvolvimento econômico cada vez mais pautado no consumo, conciliar tal disponibilidade com os usos múltiplos da água têm se tornado um processo cada vez mais difícil. Cresce, portanto, a importância de sistemas produtivos capazes de promover economia quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos.

Por melhorar a estruturação do solo, aumentar a infiltração e retenção de água, reduzir a temperatura do solo, além de diminuir as perdas de água por evaporação e por escoamento superficial, o SPDH é um sistema capaz de promover economia de água para irrigação (Marouelli et al. 2006; 2010).

Marouelli et al. (2006), avaliando a necessidade de água para irrigação da cultura do tomateiro para processamento, verificou que o SPDH foi mais eficiente no uso da água que o SPC. Os autores, em experimento realizado em Brasília – DF, avaliaram que o uso do SPDH para cultivo

tomateiro promoveu uma economia de 25% até os 50 dias após o transplante (DAT) das mudas e de 11% em todo o ciclo. Quando considerado a relação entre produção de frutos e água utilizada para irrigação, o SPDH foi 23% mais eficiente que o SPC.

Para o cultivo de repolho, Marouelli et al. (2010) também verificou maior economia de água para irrigação quando o SPDH foi utilizado como sistema de manejo de solo. Os autores verificaram que a maior economia de água foi obtida quando maior quantidade de palhada ($13,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi utilizada. A economia chegou a 28% nos 30 primeiros dias de cultivo. Ao final do ciclo a economia foi de 13%. Por fim, o índice de produtividade de água, que é a massa de repolho produzido pelo volume de água utilizado, apresentou relação linear com a quantidade de palha utilizada, sendo, ao final do ciclo 21% maior no SPDH que no SPC.

Os exemplos citados mostram claramente que o SPDH tem um significativo potencial de promover a economia de água em áreas de produção de hortaliças. Isso se torna de suma importância na busca de uma olericultura sustentável, principalmente em um cenário onde a escassez hídrica que se tem mostrado cada vez mais presente em diversas regiões do território brasileiro.

Manutenção e/ou melhoria dos níveis de produtividade

A manutenção e/ou melhoria dos níveis de produtividade deve necessariamente constituir um dos pilares do alcance de uma agricultura sustentável. Os trabalhos que visam avaliar a produtividade de culturas em SPD têm mostrado resultados variáveis, não sendo possível afirmar que a adoção desse sistema promove igualmente melhoria dos índices de produtividade para todos os cultivos agrícolas. Entretanto, parece haver uma relação positiva entre o tempo de adoção do sistema e o alcance de melhores níveis de produtividade em razão da melhoria da “saúde” do sistema, conforme mencionado nos itens

anteriores. Abaixo seguem alguns exemplos de resultados observados em experimentos conduzidos na Embrapa Hortaliças.

Em experimento com brócolis cabeça único, Melo et al. (2010) quantificou produtividade semelhante entre os tratamentos que utilizaram o SPDH e aqueles que utilizaram o SPC.

Souza et al. (2014) também observaram níveis de produtividade de repolho semelhante quando comparados ao PPR e ao SPC. Resultado semelhante ao de Souza et al. (2014) foi encontrado por Marouelli et al. (2010), que não observou diferença de produtividade entre o repolho cultivado em diferentes níveis de palhada em SPDH e em SPC.

Por sua vez, Marouelli et al. (2016) verificaram produtividade do tomateiro entre 10% e 17% maior no SPDH quando comparada ao SPC. Em outro experimento, o cultivo do tomateiro tipo “cereja” em cultivo protegido e SPDH foi semelhante ao cultivo mínimo (CM) e ao SPC, sendo de 75 t ha⁻¹, 76 t ha⁻¹ e 79 t ha⁻¹, respectivamente. A adoção de diferentes plantas de cobertura (amaranto, crotalária, milheto e sorgo forrageiro) em SPDH também resultou em produtividade semelhante ao SPC, sendo de 126 t ha⁻¹, 131 t ha⁻¹.

Considerações finais

O SPDH apresenta-se como alternativa para aumentar a sustentabilidade de sistemas produtivos de algumas hortaliças como o brócolis, o repolho, o tomate, a cebola, o melão, e a abóbora, entre outras. Este aumento de sustentabilidade tem se dado pela capacidade dos sistemas em manter e/ou aumentar os níveis de produtividade em associação com a melhoria da sustentabilidade ambiental dos cultivos de hortaliças.

Esta situação torna-se ainda mais importante num cenário de mudanças ambientais, tal qual as mudanças climáticas, que exigirão a adaptação da agricultura mundial visando à manutenção dos níveis de produtividade com maior sustentabilidade ambiental.

É esperado ainda que a alteração nos hábitos de consumo, com a priorização de demanda por produtos que ocasionem menor impacto ambiental negativo em sua produção, também aumente a pressão pela adoção de sistemas de produção conservacionistas, como o SPDH.

Dentre os diversos benefícios proporcionados pelo uso do SPDH, tem chamado atenção a melhoria da qualidade do solo, a redução da necessidade de água para irrigação e da temperatura do solo e a menor exigência no uso de energia elétrica, combustíveis e de realização de capinas, refletindo, por vezes, em menor custo de produção. Entretanto, a adoção desse sistema exige uma mudança na postura do agricultor, uma vez que parte da área, em determinadas épocas do ano, deve ser destinada ao crescimento de plantas de cobertura, enquanto outra parte esteja destinada à produção da hortaliça de interesse. Esse aspecto é de suma importância para o atendimento aos pilares do SPDH (revolvimento mínimo do solo, restrito à cova ou linha de plantio; rotação ou sucessão de culturas e manutenção do solo coberto pelos resíduos vegetais de plantas de cobertura durante todo o ciclo de cultivo).

Referências

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NICOLAU, E. N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347. 2011.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.

ASSIS, R. L.; LAÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob sistema de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo de solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 999-1011, 2011.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v. 33, p. 469-475, maio/jun. 2003.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 133-142, 2007a.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas a erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida as adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781-792, 2007b.

CAIXETA, R. P.; ALCÂNTARA, F. A.; MADERIA, N. R.; ABDALLA, R. P. **Perdas de água, solo nutrientes e matéria orgânica em área cultivada com cebola sob diferentes sistemas de manejo de solo**. Brasília. Embrapa Hortaliças, 2009. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 51). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2010/36122/1/bpd-51.pdf> > Acesso em: 12 jul. 2017.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CASTRO, C. M.; ALMEIDA, D. J.; RIBEIRO, R. L. D.; CARVALHO, J. F. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.

40, p. 495-502, 2005. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/32269/1/40n05a11.pdf> >. Acesso em: 12 jul. 2017.

CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v. 129, p. 40-47, 2013.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 587-589, 2004.

DE LA PEÑA, R.; HUGHES, J. Improving vegetables productivity in a variable and changing climate. **Journal of SAT Agricultural Research**, v. 4, p. 1-22, 2007.

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

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-68.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, maio 2006.

FONTENELLE, M. R.; LIMA, C. E. P.; BALDUÍNO, D.; MENDES, L. S.; BONFIM, C. A. **Mudanças de atributos microbianos em cultivo de melão em ambiente protegido sob diferentes sistemas de manejo**. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2016. 24 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim

de Pesquisa e Desenvolvimento, 135). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148684/1/BPD-135.pdf> > . Acesso em: 18 jul. 2017.

FREITAS, P. L.; Harmonia com a natureza: a adoção do sistema de plantio direto pode garantir competitividade à agricultura brasileira, em especial na região dos cerrados. **Agroanalysis**, v. 22, p. 12-17, 2002.

FREITAS, P. L.; LANDERS, N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of Zero Tillage Conservation Agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, p. 35-46, 2014.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 375-380, 2008.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

LIMA, C. E. P.; CASTRO, J. S.; MADEIRA, N. R.; FONTENELLE, M. R. **Avaliação de impactos ambientais com o Ambitec-Agro: estudo de caso do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2014. 24 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 117). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118050/1/BPD-117.pdf> > Acesso em: 18 jul. 2017.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. GUEDES, I. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 378-387, abr. 2016. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145111/1/Compartimentos-de-carbono-organico.pdf> >. Acesso em: 18 jul. 2017.

MARQUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, R. F. Eficiência do uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 369-375, 2010. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE-2010/47956/1/45n04a04.pdf> >. Acesso em: 18 jul, 2017.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1399-1404, 2006. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/40715/1/41n09a08.pdf> >. Acesso em: 18 jul. 2017.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; LIMA, C. E. P. **Produção de brássicas em sistema de plantio direto**. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2016. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 151). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153938/1/CT-151.pdf> > Acesso em: 18 de jul. 2017.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 23-28, 2010.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Nobel, 1989. 201 p.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de Geografia**, v. 30, p. 91-98, 2012.

PIVA, J. T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MORAES, A.; PAULETTI, V.; TOMAZI, M.; PERGHER, M. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. **Plant and Soil**, v. 361, p. 359-373, 2012.

REIS, C. E. S.; DICK, D. P.; CALDAS, J. S.; BAYER, C. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 292-301, 2014.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: AMBITEC-AGRO**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2003. 95 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34). Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/5806/1/documentos_34.pdf >. Acesso em: 18 jul. 2017.

ROSOLEM, C. A.; FURLANI JÚNIOR, J. A.; BICUDO, S. J.; MOURA, E. G. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 115-120, 1992.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 313-319, 1995.

SANTOS, H. P.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; KOCHANN, R. A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solos e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v. 67, p. 441-454, 2008.

SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; GRYZE, S. D.; MORRIS, S. J.; GREGORICH, E. G.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1981-1987, 2002.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, R. F. **Frações da matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes no cultivo de hortaliças sob sistemas de manejo**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SOUZA, R. F.; FIGUEIREDO, C. C.; MADEIRA, N. R.; ALCÂNTARA, F. A. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 923-933, 2014.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1837-1844, 2009.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 485-491, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, E.; ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 188-198, 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, 1978. 67 p. (Agricultural Handbook).

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; ROHR, M. R.; MENEGOL, D. R. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, p. 51-58, 2011.

