



Adubação fosfatada a lanço em culturas anuais sob sistema de semeadura direta

Gustavo Franco de Castro¹

Silvino Guimarães Moreira²

Saulo Saturnino Sousa³

Cláudio Manoel Teixeira Vitor⁴

Resumo

A agricultura moderna tem buscado incorporar novas tecnologias que visem à redução de custos, com otimização de mão de obra e maior rendimento operacional. Nesse aspecto, a adubação antecipada a lanço tem sido praticada por um número crescente de produtores e apresentada por alguns pesquisadores como uma alternativa viável, com o objetivo de melhorar o rendimento operacional e trazer economia ao produtor. Embora a aplicação de fósforo (P) a lanço em diversas culturas anuais tenha aumentado, há uma preocupação com esse tipo de manejo devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo e suas possíveis perdas por precipitação com os íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , por meio da formação de fosfatos insolúveis. No Sistema de Semeadura Direta (SSD), há um comportamento diferente dos atributos químicos do solo, resultando em maiores concentrações de matéria orgânica (MO) e nutrientes nas camadas superiores. Há preocupação também com o contato direto do P com o calcário aplicado em superfície, podendo formar fosfato de cálcio, uma forma de nutriente indisponível às plantas. Dessa forma, esta revisão bibliográfica tem por objetivo apresentar e discutir os aspectos atuais mais relevantes sobre a eficiência da adubação fosfatada a lanço em sistemas de produção sob SSD. Algumas pesquisas realizadas principalmente com as culturas do milho e da soja têm demonstrado que a aplicação a lanço em superfície tem apresentado maior eficiência normalmente em solos com níveis de P considerados adequados. Porém, os resultados encontrados muitas vezes indicam baixa produtividade das culturas, necessitando, assim, de novos estudos para comprovar a eficiência ou não desta prática para altos níveis de produtividade.

Palavras-chave: Milho. Soja. Fósforo. Adsorção. Precipitação.

Introdução

A agricultura moderna tem passado por constantes mudanças derivadas da busca de novas tecnologias e otimização da mão de obra, buscando-se, sobretudo, aumentar o rendimento operacional, notoriamente nas grandes áreas do Brasil Central. Nesse aspecto, a adubação antecipada a lanço tem sido praticada por um número crescente de produtores e tem sido apresentada por alguns pesquisadores como uma alternativa viável para melhorar o rendimento operacional e trazer economia

1 Universidade Federal de Viçosa, doutorando. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. gustavofcastro@ymail.com. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Viçosa, Viçosa (MG), CEP 36570-900.

2 Universidade Federal de São João Del Rei, professor. Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. silvino@ufsj.edu.br. Rodovia MG 424, km 47, Caixa Postal 56, Sete Lagoas (MG), CEP 35701-970.

3 Universidade Federal de São João Del Rei, mestrando. Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. saulosat@yahoo.com.br. Praça Coronel Domingos Diniz Coutto, 616, Centro, Jequitibá (MG), CEP 35767-000.

4 Universidade Federal de São João Del Rei, professor. Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. claudio@ufsj.edu.br. Rodovia MG 424, km 47, Caixa Postal 56, Sete Lagoas (MG), CEP 35701-970.

ao produtor. Em áreas cultivadas sob Sistema de Semeadura Direta (SSD), a adubação antecipada da cultura de verão com fertilizantes fosfatados e potássicos a lanço e em superfície é uma das técnicas que vem se expandindo como forma de agilizar as práticas na lavoura, ou seja, melhorar o rendimento operacional e também a utilização de mão de obra em períodos mais ociosos (PAVINATO; CERETTA, 2004). De acordo com Guareschi et al. (2008), a aplicação de quantidades elevadas de adubo no momento da semeadura pode atrasar essa etapa e levar a perdas de produtividade. Isso ocorre devido à menor capacidade operacional oriunda do maior tempo e número de abastecimentos do maquinário durante a semeadura.

Embora tenha aumentado a aplicação de fósforo (P) a lanço em diversas culturas anuais nas grandes propriedades do Brasil, preocupa-se tal situação devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo e suas possíveis perdas por precipitação com íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , formando fosfatos insolúveis. A preocupação aumenta nos solos que ainda não apresentam sua acidez totalmente corrigida, podendo acelerar a formação de fosfatos de alumínio insolúveis e indisponíveis às plantas. Altmann (2012) cita que a adubação em qualquer sistema de produção tem sua eficiência maximizada somente quando não há restrições químicas, físicas e biológicas, evidenciando a necessidade da correção prévia da acidez do solo.

Ressalta-se ainda que em solos sob SSD com aplicação de calcário em superfície, há preocupação também com o “contato direto do P aplicado a lanço” com o corretivo, o que pode levar à formação de fosfato de cálcio, uma forma do nutriente indisponível às plantas.

Dessa forma, devido à baixa mobilidade do nutriente no solo e às possíveis perdas por precipitação e fixação é de se esperar maior eficiência agrônômica do elemento quando ele é aplicado na linha de semeadura em solos com baixo teor de P. Portanto, é imprescindível que se busque combinar na prática ações que aumentem o rendimento operacional, mas que não comprometam a eficiência agrônômica do nutriente, levando assim a uma maior possibilidade de sustentabilidade tanto econômica quanto ambiental.

Por fim, acredita-se que a viabilidade da adubação a lanço no SSD depende do manejo do solo, da presença de palha na superfície e da eficiência individual de cada um dos nutrientes, sendo diretamente relacionado ao teor do nutriente no solo e às condições predispostas às perdas (ALTMANN, 2012). Com isso, são necessários mais estudos sobre métodos de aplicação, fontes e época de aplicação, entre outros. Além de todos os fatores já citados, Resende et al. (2006) citam a alta exigência de fósforo para correção da fertilidade das áreas sob Cerrado, ausência de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no Brasil e elevado custo dos fertilizantes. Dessa forma, esta revisão bibliográfica tem por objetivo apresentar e discutir os aspectos atuais mais relevantes sobre a eficiência da adubação fosfatada a lanço em sistemas de produção sob SSD.

Fósforo no sistema de semeadura direta

O SSD refere-se a um complexo de processos tecnológicos utilizados na exploração de sistemas agrícolas produtivos, abrangendo a mobilização do solo somente na linha de semeadura, manutenção de restos culturais no solo e a rotação e/ou consorciação de culturas, buscando sempre ampliar a biodiversidade dos solos, construir e manter a fertilidade desses e ainda aportar ao solo matéria orgânica (MO) em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica. Esse sistema cresceu substancialmente no Brasil nos últimos anos principalmente por suas vantagens claramente disponíveis ao agricultor e ao meio ambiente. A grande evolução observada nos últimos anos na adoção do SSD nos cerrados brasileiros ocorreu devido à solução parcial ou

total dos problemas primários encontrados nessas regiões, como necessidade de formação e manutenção de cobertura morta, da correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, eficiência na mecanização, controle de plantas daninhas, entre outros (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

Segundo Caires et al. (2003), a manutenção de atributos químicos e estruturais do solo, eficiente controle da erosão e também a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo são fatores que evidenciam as vantagens do sistema e, conseqüentemente, seu crescimento no país. Almeida et al. (2005) citam que antes da implantação do sistema é essencial uma avaliação completa das propriedades químicas do solo, uma vez que essas variam em função do ambiente, do manejo adotado e histórico de uso dos solos da região.

Além da melhoria das propriedades químicas dos solos, deve ser ressaltada a eficiência do sistema em melhorar as propriedades físicas dos solos. Cruz et al. (2001) salientam que a melhor manutenção da estabilidade dos agregados no solo leva à melhoria da sua estrutura, evitando os processos de compactação, melhorando a infiltração de água no solo e mantendo a sua umidade, além de conservar os teores de MO no solo.

Com o incremento de MO no solo, após a adoção do SSD, ocorre como conseqüência o aumento dos teores de carbono, nitrogênio e da capacidade de troca de cátions dos solos (CTC) no SSD (ELTZ et al., 1989). Deve ser ressaltado que em solos mais tamponados, com níveis altos de MO, espera-se que os efeitos do SSD no aumento da MO sejam menos pronunciados (ALMEIDA et al., 2005).

As práticas conservacionistas adotadas com o uso do sistema, concomitantemente à correção da acidez do solo, levam à expectativa de um maior acúmulo de resíduos vegetais e nutrientes, além de diminuir a erosão e compactação do solo (LEITE et al., 2010).

No SSD há um comportamento diferente dos atributos químicos do solo, resultando em maiores concentrações de nutrientes nas camadas superiores em relação ao cultivo convencional, devido ao não revolvimento dos solos (LANGE et al., 2008; LEITE et al., 2010). Pavinato e Ceretta (2004) evidenciaram que essa maior fertilidade nas camadas superficiais ocorre também pela aplicação do calcário em superfície, ausência de revolvimento do solo, manutenção da ciclagem de nutrientes por meio dos resíduos das plantas de cobertura e pela menor perda de adubos por processos erosivos.

Especificamente para o P, elemento que possui baixa mobilidade, constata-se que na semeadura direta ocorre maior acúmulo desse elemento nas camadas superficiais (BONO et al., 2002), aumentando sua disponibilidade às plantas, sendo que esse aumento é no geral significativo em áreas onde o sistema está implantado há mais de cinco anos (MORETI et al., 2007). Deve ser ressaltado que além do aumento dos resíduos (palha na superfície), outros fatores contribuem para o aumento da disponibilidade de P em solos sob SSD, como discutido a seguir.

Possivelmente os níveis mais elevados de MO nos solos sob SSD contribuem para redução da adsorção do P no solo, pois sabe-se que a MO é capaz de bloquear os sítios de adsorção do elemento na superfície dos óxidos de ferro e alumínio, por meio da formação de complexos com esses óxidos (SILVA et al., 1997), sendo esses muitas vezes recobertos por moléculas de ácidos húmicos, málico e acético (CASTOLDI et al., 2012).

Além disso, nos solos sob SSD já foi relatado o aumento da quantidade de P orgânico (Po), comparado com solos cultivados pelo método convencional (RHEINHEIMER et al., 2000). Gatiboni et al. (2007) citaram que o aumento de MO e Po é uma conseqüência adicional no SSD devido à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo. Nesse sentido, Martinazzo et al. (2007) salientaram que esses resíduos quando decompostos lentamente podem maximizar a utilização de Po, após ser mineralizado, como fonte de P pelas plantas, proporcionada pelo sincronismo entre

disponibilidade do elemento e crescimento da planta. Assim, há uma eficiência no aproveitamento de adubos fosfatados pela redistribuição de Po no solo, atuando como uma forma mais estável do elemento e menos suscetível à fixação (MORETI et al., 2007).

Os microrganismos também assumem papel importante no aumento de Po armazenado em solos sob SSD, uma vez que o armazenamento do P em suas células protege o elemento da adsorção pelos colóides, mantendo-o assim na forma disponível por mais tempo (CONTE et al., 2002). Portanto, deve-se optar por sistemas de produção que diminuam as perdas de Po do solo, garantindo a manutenção da sua disponibilidade e sustentabilidade do sistema (CONTE et al., 2003).

Também não deve ser esquecido que em solos sob SSD pode ocorrer menor adsorção do P aplicado com os colóides do solo, reduzindo as reações de fixação com os óxidos de Fe e Al, devido à ausência de revolvimento do solo. Falleiro et al. (2003), avaliando a influência dos diferentes sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo, constataram que no SSD houve maior acúmulo de P disponível na média das três profundidades estudadas (0-5, 5-10 e 10-20 cm). Os autores atribuíram esses resultados à ausência do revolvimento e à manutenção dos restos culturais, o que leva à redução do contato do P com as argilas, diminuindo a adsorção com os óxidos. Deve ser ressaltado que esse efeito é esperado quando o P é aplicado na linha de semeadura, em especial em solos ricos em alumínio e ferro. Nas aplicações de P a lanço, o contato P-óxidos diminui devido às características adotadas no SSD, levando assim a uma menor perda do elemento e otimização no uso do recurso.

Aplicações de fósforo a lanço no sistema de semeadura direta

Após a implantação e consolidação do SSD nas propriedades, a recomendação tem sido para a aplicação de calcário a lanço, em superfície e sem incorporação (CAIRES et al., 2000). Embora seja uma prática consolidada em todo Brasil, sabe-se que pode elevar o pH da camada superficial a valores maiores do que o das camadas inferiores do solo.

A quantidade de P adsorvido à superfície dos óxidos de Fe e Al depende da percentagem desses óxidos nos solos, mas as possíveis perdas por precipitação do íon fosfato relaciona-se diretamente ao pH do solo. Isso porque em solos intemperizados naturalmente ácidos, os íons fosfato combinam com íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , levando a produtos de baixa solubilidade oriundos da reação de precipitação (KURIHARA; HERNANI, 2011).

Na literatura o termo adsorção é abordado muitas vezes incluindo tanto o processo de adsorção quanto o de precipitação (SILVA et al., 1997). Segundo kurihara e Hernani (2011), após o contato entre o solo e o fertilizante fosfatado aplicado, forma-se o P-lábil, que pode estar adsorvido ou precipitado e em equilíbrio com o P-solúvel na solução. No processo de adsorção ocorre uma atração eletrostática com troca de ligantes (OH^- por HPO_4^{2-} , por exemplo) à medida que o P se aproxima da superfície adsorvente, formando assim ligações coordenadas simples (NOVAIS; SMITH, 1999). Andrade et al. (2003) salientaram que as baixas concentrações de fosfato na solução do solo em decorrência dessa adsorção levam à necessidade de doses elevadas de fertilizantes fosfatados, com o objetivo de aumentar a disponibilidade desses elementos para as plantas.

Em solos ácidos, com altos teores de íons Al^{3+} e Fe^{3+} , pode ocorrer uma maior formação dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da disponibilidade do P às plantas (SANDIM, 2012). Por outro lado, em solos com altos valores de pH, o P aplicado pode ter sua eficiência comprometida, devido à formação de fosfatos de cálcio insolúveis. Segundo Novais et al. (2007), após a formação do fosfato tricálcico em solos com pH elevados e que apresentam muito cálcio trocável, a solubilização ocorre com a acidificação do meio e, conseqüentemente, à medida que se aumenta o pH, torna-se o com-

posto menos solúvel. Esses fosfatos de cálcio são oriundos da alta atividade desse cátion no solo, seja pela calagem excessiva ou pela falta de incorporação do calcário, o que leva também, segundo Sousa et al. (2007), à indisponibilização de micronutrientes como o zinco, cobre, manganês e ferro e à mineralização da MO. Assim, na prática existe uma preocupação sobre a eficiência agrônômica da aplicação superficial de P a lanço e calcário superficial em um mesmo ano agrícola, pois esse possível “contato direto” do calcário com o P poderia levar à formação de fosfato de cálcio, diminuindo os teores de P disponível no solo, e à eficácia da adubação em superfície em solos sob SSD.

A limitação da absorção do P pelas plantas não está apenas relacionada à alta adsorção do elemento aos óxidos de ferro e alumínio, mas também à precipitação, como já comentado, e a sua difusão. Isso porque a difusão é o principal mecanismo de transporte de P no solo até as raízes das plantas (COSTA et al., 2006). O processo de difusão é influenciado por muitos fatores, entre eles: interação fósforo-colóide, conteúdo volumétrico de água no solo, distância do P aplicado das raízes, teor do elemento e temperatura do solo. O fluxo difusivo do fósforo pode ser reduzido drasticamente em condições de baixa umidade no solo, por isso em regiões do cerrado pode ocorrer a paralisação temporária da absorção deste nutriente pelas plantas devido à falta de água (MAGALHÃES, 1996).

Nesse sentido, a quantidade de palha presente nas áreas dos solos sob SSD tem papel fundamental na manutenção da umidade do solo. Para Nunes et al. (2006), é importante a definição das espécies de cobertura a serem utilizadas no SSD, sendo preferencial a escolha de culturas com boa produção de biomassa e que tenham elevada persistência, levando a uma proteção física do solo em períodos tanto de excesso quanto de falta de água.

Porém sob as condições climáticas encontradas em alguns biomas brasileiros, entre eles o cerrado, tem sido difícil a formação e em especial a manutenção da palhada necessária para proteger a superfície do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Deve ser ressaltado também que em solos com baixa cobertura vegetal, há possibilidade de perdas do P aplicado a lanço pelo próprio escoamento superficial, juntamente com a água das chuvas. Bertol et al. (2004), estudando as perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo, comprovaram que as perdas de solo foram maiores no sistema com preparo convencional, se comparadas ao sistema de semeadura direta. As explicações dos autores baseiam-se na ausência de cobertura e na exposição direta do solo aos impactos das gotas de chuva e à enxurrada no sistema convencional. Citam ainda que os resíduos vegetais no SSD dissiparam a energia cinética das gotas de chuva e das enxurradas e diminuíram a velocidade do fluxo de água e desagregação dos solos, obtendo um solo mais consolidado e resistente ao sulcamento pela enxurrada.

Aumenta-se ainda mais a preocupação em solos onde a pouca quantidade de palha na superfície é combinada com relevo ondulado. Para Pavinato e Ceretta (2004), em maiores declividades, a aplicação de fertilizantes em superfícies pode ter efeitos negativos sobre o ambiente, uma vez que aumentam as chances de perda por escoamento superficial dos nutrientes. Kluthcouski et al. (2000) relatam também que a falta de cobertura, aliada à intensa movimentação de máquinas e implementos, pode levar à recompactação/readensamento do solo e à salinização, devido à constante deposição de fertilizantes na superfície. Por isso, é importante que o sistema seja bem implantado e conduzido, levando à melhoria do aproveitamento dos nutrientes e reduzindo a perda deles (CASTOLDI et al., 2012).

Adubação fosfatada a lanço no sistema de semeadura direta

O crescente aumento do SSD no Brasil exigiu a adoção de novas tecnologias para que os recursos econômicos e ambientais fossem maximizados. A dinâmica dos nutrientes nesse sistema é afetada em razão de algumas premissas adotadas, como o não revolvimento do solo, a presença de

palhada e a rotação de culturas. Por isso, exige-se um manejo diferenciado na adubação e fertilidade do solo ao se adotar o SSD (CASTOLDI et al., 2012).

O manejo mais usual da adubação fosfatada, especialmente em regiões do cerrado, é a aplicação de fontes solúveis de P no sulco de semeadura (NUNES et al., 2011). Porém, a aplicação desse elemento a lanço vem ganhando espaço entre os agricultores por aumentar o rendimento operacional no momento da semeadura. Nesse sentido algumas pesquisas estão sendo realizadas para comprovar a eficiência ou não da adubação fosfatada a lanço para as culturas implantadas nesse sistema, levando assim a um manejo sustentável e rentável ao produtor.

Em experimento conduzido em Argissolo Amarelo do Tabuleiro Costeiro de Sergipe, com teor inicial de 1 mg dm^{-3} de P (Mehlich-1) na camada de 0-20 cm, Barreto e Fernandes (2002) observaram aumentos lineares dos teores foliares de P com doses de P_2O_5 de 0 a 180 kg ha^{-1} , utilizando a fonte superfosfato triplo. A maior eficiência de absorção pelas plantas foi observada na adubação a lanço, realizada previamente à semeadura do milho. Obtiveram também maiores produtividades de milho com aplicação do P a lanço, comparada com a aplicação no sulco (4.260 kg ha^{-1} de milho com aplicação de $134,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 a lanço e de 3.620 kg ha^{-1} para uma aplicação de $155,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 no sulco).

É importante relatar que o solo utilizado no trabalho acima apresenta baixos teores de argila e óxidos de ferro e alumínio no horizonte A, devido ao seu maior teor de areia, reduzindo drasticamente sua capacidade de adsorção do P em comparação com os solos ácidos tropicais existentes no Brasil. Além disso, deve ser ressaltado que as produtividades obtidas no trabalho são extremamente baixas, comparadas às produtividades de milho obtidas nas condições do Brasil Central.

Da mesma forma, Collier et al. (2008), num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com menos de 30 % de argila e $\text{P} = 2,51 \text{ mg dm}^{-3}$ em Gurupi-TO, concluíram que a maior produtividade de milho foi obtida com o P aplicado a lanço independente das fontes utilizadas (fosfato natural reativo ou superfosfato simples). A produtividade média do milho quando o P foi aplicado no sulco e a lanço foram de $3652,25$ e $5155,96 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Tal resultado é atribuído devido ao maior tempo de contato do P com os colóides no sistema de adubação em sulco, isso eleva sua solubilidade e aumenta os processos de fixação do elemento, tornando-o menos disponível para as plantas, o que conseqüentemente reduz a produtividade das culturas. No entanto, ressalta-se novamente que as produtividades obtidas nesses trabalhos são muito baixas, comparadas às atuais produtividades de milho que têm sido obtidas em condições de campo sob diferentes sistemas de produção (RESENDE et al., 2012).

Por outro lado, Prado et al. (2001) obtiveram resposta diferencial na produção de grãos de milho em relação aos trabalhos anteriores. Em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico de Uberaba (MG), com 66 % de argila e 5 mg dm^{-3} de P, extraídos por Mehlich-1 na camada 0-20 cm, a maior produtividade de milho foi obtida quando o P foi aplicado em sulco duplo, comparado ao sulco simples, sendo que esses modos de aplicação ainda superaram a aplicação a lanço. Nesse caso específico, os teores de argila do solo em questão são muito superiores ao do solo utilizado por Collier et al. (2008), o que pode ter contribuído para perda de fósforo por adsorção. Guareschi et al. (2008) explicam tal situação pelo fato de a adubação a lanço em sistemas com pouca cobertura vegetal aumentar o contato do fertilizante com o solo, aumentando sua fixação. Em contrapartida, a adubação em sulco tende a diminuir esse processo.

Em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico da região de Coronel Bicaco (RS), com teores de P muito altos, até 20 cm de profundidade, houve tendência de redução na produção de massa seca

nas culturas do trigo e milho, quando toda a adubação fosfatada e potássica foi aplicada a lanço no inverno, antes da cultura do trigo, comparado com a adubação de cada nutriente em linha no momento da semeadura de cada cultura (PAVINATO; CERETTA, 2004). Os autores ainda salientaram que as diferentes formas de aplicação de P não modificaram as produtividades de grãos. Os altos teores de P, aliados à adequada distribuição de chuvas durante o ciclo do milho, que favorecem o processo de difusão, podem ter contribuído para a obtenção dos resultados encontrados.

Em trabalho também conduzido em um Latossolo Vermelho distroférico no Sudoeste de Goiás, Guareschi et al. (2008) avaliaram a produtividade da soja submetida à adubação fosfatada na semeadura em linha e a lanço. O solo em questão apresentava teores de P (Mehlich-1) = $8,7 \text{ mg dm}^{-3}$ e textura média, com 50 % de argila. Não foi constatada diferença entre os tratamentos ao se analisar o peso de 1.000 grãos, número total de vagens por planta e número de grãos por vagem. Porém, a maior produtividade foi obtida quando a adubação foi antecipada e a lanço (4.182 kg ha^{-1}), em contraste com a adubação de semeadura (3.798 kg ha^{-1}). Os autores evidenciaram ainda que ambas as formas de adubação foram superiores às médias nacionais e que grande parte desses resultados são obtidos devido às condições de fertilidade desse solo, onde os teores de P são considerados adequados, o que dificilmente é encontrado em todos os solos da região do cerrado.

Em outro trabalho realizado por Guareschi et al. (2011), em condições de campo parecidas com o trabalho anterior (com níveis de P considerados bom e 50 % de argila), foi constatada a maior produtividade da soja quando o fertilizante fosfatado foi aplicado no momento da semeadura ($3106,5 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto na aplicação a lanço os valores encontrados foram $3002,3 \text{ kg ha}^{-1}$. É importante observar que no presente trabalho foi feita apenas recomendação de adubação de manutenção com 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 , enquanto no trabalho anterior à adubação foram 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que essa diferença de dosagem pode ter influenciado os diferentes resultados encontrados.

Durante duas safras consecutivas em um Latossolo Vermelho distroférico com $4,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de P de Ponta Porã (MS) sob SSD, as produtividades de soja não foram modificadas pela forma de aplicação de P (lanço ou sulco) (MOTOMIYA et al., 2004). Resultados semelhantes também foram encontrados por Kappes et al. (2013) em um Latossolo Vermelho distroférico, com baixo teor de P. No primeiro ano de cultivo, no tratamento em que não se realizou nenhuma correção de P no solo, a aplicação do fertilizante no sulco incrementou em 9 % a produtividade da cultura, em comparação com a aplicação a lanço. A partir desse primeiro cultivo, a produtividade da cultura não variou com a aplicação de P em superfície ou em sulco, independente da correção inicial dos níveis de P nos solos, em três cultivos sucessivos de soja. Nesse aspecto, Santos et al. (2008) salientaram que as perdas em produtividade ao adubar superficialmente devem ser cada vez maiores em solos que tenham os teores de P cada vez menores. Isso evidencia a necessidade da adequada correção dos níveis de acidez e de P em solos do cerrado antes da implantação das culturas, dando suporte para a obtenção de elevadas produtividades das culturas a serem implantadas.

Ao estudar o efeito de formas de aplicação de P na produtividade da soja de um Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico de São Vicente do Sul (RS), com 16 % de argila e $23,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P na camada 0-10 cm, Hansel (2013) obteve maior produtividade de soja (14 %) com fertilizantes fosfatados de alta solubilidade aplicados a lanço, comparada à aplicação no sulco de semeadura. Neste caso, no manejo a lanço com fontes de alta solubilidade, a cada kg de P_2O_5 aplicado, 33 kg foram convertidos em soja, enquanto com a utilização de fontes de baixa solubilidade, a cada kg de P_2O_5 aplicado, 29 kg foram convertidos em soja. As fontes de alta solubilidade apresentaram em torno de 7 % a mais em produtividade ao usar a fertilização a lanço (191 kg ha^{-1}).

Com o objetivo de avaliar a adubação superficial de fósforo em diferentes épocas em pré-semeadura da soja, Lana et al. (2003) conduziram um trabalho em Uberlândia (MG) em solo com teores muito baixos de P. Constataram que até cinco meses antes da semeadura da soja, em um mesmo ano agrícola, a aplicação antecipada de P não modificou os teores foliares de P, peso de cem grãos e a produtividade da cultura. Como dito anteriormente, essa viabilidade deve-se à redução de abastecimento de fertilizantes nas semeadoras, levando a um maior rendimento operacional na propriedade e conseqüente redução de custos de implantação da cultura. Porém, para Pavinato e Ceretta (2004), teores de P e K acima do nível crítico são requisitos básicos para aplicação antecipada desses elementos no inverno e ainda evidenciaram que a adoção dessa prática quando em teores considerados baixos no solo pode levar a perdas de produtividade na cultura de verão.

Na região de Uberlândia (MG), Lana et al. (2007) avaliaram a eficiência da adubação fosfatada a lanço na produtividade da soja durante cinco anos consecutivos sob SSD. O solo em estudo possuía 17 % de argila, baixa acidez e baixo teor de P, resultando em um solo com baixo poder tampão. Os resultados indicaram respostas significativas na produtividade da cultura com aumento das doses de P (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Os autores citaram que no decorrer dos anos houve um aumento gradativo na produtividade e que isso é provavelmente devido ao acúmulo de P no solo, uma vez que no mesmo experimento foi comprovado que à medida em que se aumentam as doses de P₂O₅, também há um aumento do elemento no solo e nas folhas de soja.

Ao analisar o acúmulo de P no solo, Lana et al. (2003) comprovaram uma elevação gradativa dos teores de P residual durante o cultivo de soja em cinco anos consecutivos, o que provavelmente pode ter refletido na produtividade da cultura. A cultura da soja responde bem às doses de P incrementadas, principalmente em solos do cerrado, onde os teores desse elemento são normalmente baixos, porém mesmo com o acúmulo de P no solo no decorrer de safras consecutivas, deve ser observada a necessidade da adubação fosfatada de manutenção afim de manter as médias de produtividade da cultura.

De maneira geral, as respostas positivas da adubação fosfatada a lanço têm sido encontradas em condições de solo com teores altos de P disponível, resultando na realização apenas da adubação de manutenção (CASTOLDI et al., 2012). Atualmente a maioria dos resultados encontrados nas pesquisas são relativos às culturas da soja e do milho, sendo que muitas vezes as produtividades encontradas nesses trabalhos são relativamente baixas comparativamente às médias encontradas por bons produtores no país. Portanto, há a necessidade de mais estudos de campo que comprovem ou não a eficiência da aplicação de adubos fosfatados a lanço e em superfície (LANA et al., 2007), visando altas produtividades. Assim, é necessária a realização de novas pesquisas com o objetivo principal de fornecer dados que facilitem a tomada de decisão e maximizem toda a cadeia produtiva no país.

Considerações finais

A aplicação de P a lanço em superfície tem aumentado no Brasil, especialmente nas grandes áreas de produção de grãos, com o objetivo de aumentar o rendimento operacional e reduzir os custos de implantação das lavouras.

Na prática deve-se evitar a aplicação superficial de P em conjunto à aplicação de calcário, minimizando a formação de fosfato de cálcio, uma forma indisponível às plantas. Importante ressaltar também a manutenção da cobertura vegetal no SSD, fator importante para manter a umidade do solo, evitar perdas de P por escorrimento superficial, além de fornecer MO ao sistema, o que diminui bastante as perdas de P por adsorção aos óxidos de ferro e alumínio.

De maneira geral, as respostas positivas da adubação fosfatada a lanço têm sido encontradas em áreas com altos teores de P disponível, resultando apenas na realização de adubação de manutenção do P nos solos. Nessas áreas, as produtividades das culturas têm sido semelhantes à aplicação do P a lanço ou em sulco, porém há uma grande preocupação com o P aplicado a lanço em SSD, em que os manejos adotados são ineficientes.

No entanto, faltam estudos de campo que comprovem a eficiência da adubação fosfatada a lanço nas diversas condições edafoclimáticas do País, em especial quando se deseja obter altas produtividades.

Abstract

Modern agriculture has tried to incorporate new technologies to reduce costs, optimize the workforce and achieve operational efficiency. In this context, early broadcast fertilization has been performed by a growing number of farmers and has been showed by researchers as a practicable alternative to improve the operational yield and help farmers to save resources. Although phosphorous (P) broadcast application on several annual crops on large farms has increased, there is a concern about this type of management regarding the low mobility of this nutrient on the soil and possible losses caused by precipitation with Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , through formation of insoluble phosphates. On no-till farming system (SSD in Portuguese), there is a different behavior on the soil chemistry attributes, resulting in higher organic matter and nutrients concentrations in the upper layers. There is also concern with the direct contact of phosphorous with lime applied on surface, occasionally forming Calcium Phosphate, an unavailable form of this nutrient for plants. Thereby, this literature review aims to show and discuss current relevant aspects about the efficiency of broadcasted phosphorous fertilization and on surface of no-till farming areas. Some studies performed mainly on maize and soybean have shown the broadcast application on surface normally is more efficient on soils with appropriate P levels. However, the results found may indicate low crop yield, requiring new studies to verify the efficiency of this practice for high productivity levels.

Keywords: Maize. Soybean. Phosphorus. Adsorption. Precipitation.

Referências

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445, mai/ jun. 2005.

ALTMANN, N. Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado. Piracicaba: **International plant nutrition institute**, 2012. 8 p. (Informações agronômicas nº 140).

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 151-156, 2002.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 485-494, 2004.

BONO, J. A. M.; MICHELON, T.; ARIAS, E. R. A.; DUBOC, E. Métodos de amostragem de solo em sistema de plantio direto. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 6, n. 2, p. 99-111, ago. 2002.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 161-169, jan/mar. 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 2, p.275-286, mar/abr. 2003.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 65, 2012.

COLLIER, L. S.; CORREIA, M. A. R.; RAMOS, L. N.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; NUNES, T. V. Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 109-116, mar/abr. 2008.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, set/out. 2003.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n. 4, p. 828-835, 2006.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.259-267, 1989.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, nov/dez. 2003.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C.. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, jun/ago. 2007.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 769-774, out/dez. 2008.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, jul/ago. 2011.

HANSEL, F. D. **Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2013.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FRANCISCO, E. A. B. Modos e doses de aplicação de fósforo na cultura da soja em diferentes níveis de correções iniciais do solo. In: XXXIII REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 33. 2013, Londrina, Paraná. **Resumos...** Paraná: Embrapa Soja, 2013. p.166-168.

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

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. **Adubação antecipada no Sistema Plantio Direto**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 45 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 108).

LANA, R. M. Q.; VILELA FILHO, C. E.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; PEREIRA, H. S.; LANA, A. M. Q. Adubação superficial com fósforo e potássio para a soja em diferentes épocas em pré-semeadura na instalação do sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.4, n. 1-2, p. 53-60, 2003.

LANA, R. M. Q.; BUCK, G. B.; LANA, A. M. Q.; PEREIRA, R. P. Doses de multifosfato magnésiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1654-1660, nov/dez. 2007.

LANGE, A.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Estoque de nutrientes no perfil do solo influenciados por doses de palha e nitrogênio no milho em semeadura direta. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2008.

LEITE, L. F. C.; GALVAO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAUJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

MAGALHÃES, J. V. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva**. 1996. 76 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-570, mai/jun. 2007.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan/fev. 2007.

MOTOMIYA, W. R.; FABRICIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 307-312, abr. 2004.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, U. R.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948, jun. 2006.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciências Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, nov/dez. 2004.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 83-90, 2001.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 453-466, mai/jun. 2006.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; JESUS, J. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 12 p. (CIRCULAR TECNICA Nº 181).

RHEINHEIMER, D. S. ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.

SANDIM, A. S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxidicos**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2012.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar/abr. 2008.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde - milho e adsorção de fósforo em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 649-654, jun. 1997.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

Histórico editorial

Submetido em: 02/04/2015

Aceito em: 04/12/2015