

Rendimento de culturas e teores de P no solo em função de doses e formas de aplicação de fertilizante fosfatado em sistema plantio direto

Carla M. Pandolfo¹ e Milton da Veiga²

Resumo – As doses e as formas de aplicação do fertilizante fosfatado no solo podem influenciar na produtividade das culturas e na distribuição do fósforo no perfil. Objetivou-se, neste estudo, verificar a resposta de culturas comerciais à aplicação de doses de P e a distribuição dos seus teores no perfil de um Nitossolo Vermelho após 7 anos. Foram aplicadas as doses de 0, 20, 40, 60 e 80kg/ha de P₂O₅ a lanço e em linha, em sistema plantio direto, avaliando-se o rendimento das culturas de trigo, soja, feijão e milho. A aplicação de P no solo aumentou o rendimento de grãos de todas as culturas, com resposta de efeito linear para as culturas de trigo e milho, quadrática para a cultura da soja e exponencial para uma das safras da cultura do feijão. A aplicação do P em linha foi mais eficiente do que a lanço para a cultura do feijão, mas a forma de aplicação não afetou o rendimento das demais culturas. Houve acúmulo de P nas camadas superficiais do solo, apresentando uma relação exponencial com as doses aplicadas nas camadas amostradas até 10cm de profundidade, tanto na aplicação a lanço como na linha.

Termos para indexação: adubação fosfatada, *Zea mays*, *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, *Triticum sativum*.

Crop yield and levels of P in soil in terms of doses and forms of phosphate fertilizer application in no-till system

Abstract – The doses and forms of phosphate fertilizer application in the soil can influence crop yield and phosphorus distribution in the profile. The objective of this study was to examine the response of crops to the application of P and the distribution of its contents in the profile of a Hapludox after seven years. We applied doses of 0, 20, 40, 60 and 80kg/ha of P₂O₅ broadcast and in the furrow, in no-till system, evaluating the yield of wheat, soybean, bean, and corn. The application of P in the soil increased grain yield of all crops, with linear response for wheat and corn, quadratic response for soybean and exponential yield for one cycle of bean. The application of P in the furrow was more efficient than broadcast to the bean, but it did not affect the yield of other crops. There was accumulation of P in the surface layers of soil, with an exponential relationship with the doses applied in layers up to 10cm deep, sampled in both the broadcast and in the furrow application.

Index terms: phosphate fertilization, *Zea mays*, *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, *Triticum sativum*.

Introdução

A disponibilidade do P no solo para as plantas normalmente é baixa nos solos tropicais, embora a quantidade total seja elevada devido à tendência do P de formar compostos de baixa solubilidade (Bissani et al., 2008), cuja magnitude depende, entre outros fatores, dos teores de argila e de oxihidróxidos de Fe e Al presentes no solo (Ernani, 2008). Assim como as doses utilizadas, a forma como o adubo fosfatado é aplicado no solo pode influenciar na sua disponibilidade para as culturas, o que também depende do sistema de manejo do solo utilizado. O

sistema plantio direto (SPD), em função da aplicação dos fertilizantes na camada superficial e do menor revolvimento do solo, proporciona aumento no teor dos nutrientes, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P), nessa camada do solo (Sidiras & Pavan, 1985). Enquanto os teores de Ca e Mg tendem a aumentar em maior profundidade, os de P e K tendem a aumentar na camada de até 5cm (Santos & Siqueira, 1996) e, com o passar do tempo, também na camada de 5 a 10cm (Lopes et al., 2004). A eficiência da adubação é melhorada nos sistemas com menor revolvimento do solo, tanto pela menor exposição dos nutrientes à formação de compostos

que reduzem sua disponibilidade quanto pela redução da erosão do solo (Gatiboni, 2003; Lopes et al., 2004).

Assim como os sistemas de manejo, as formas de aplicação do fertilizante podem alterar sua disponibilidade no solo e afetar o rendimento das culturas (Model & Anghinoni, 1992). No caso do P e do K, observa-se eficiência semelhante da aplicação dos fertilizantes a lanço ou em linha quando os teores desses nutrientes no solo estão acima do nível crítico (Pavinato & Ceretta, 2004). Prado et al. (2001) verificaram, em preparo convencional, que a aplicação em sulcos simples ou duplos foram ▶

Recebido em 30/1/2012. Aceito para publicação em 25/9/2012.

¹ Engenheira-agrônoma, Dra., Epagri / Estação Experimental de Campos Novos, C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, SC, e-mail: pandolfo@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri / Estação Experimental de Campos Novos, e-mail: milveiga@epagri.sc.gov.br.

mais eficientes que a aplicação a lanço em um Latossolo Vermelho Escuro de Minas Gerais. Zucareli et al. (2011), por sua vez, também observaram aumento na produtividade de grãos de feijão com a aplicação de doses de P no sulco de semeadura em um Latossolo Vermelho em preparo convencional. Em SPD, Borges & Mallarino (2000) não verificaram influência das formas de aplicação de P sobre o rendimento de grãos de soja em vários ensaios conduzidos em Iowa, nos Estados Unidos.

Em função da carência de estudos sobre as formas de aplicação e doses de P em sistema plantio direto, realizou-se este trabalho com o objetivo de verificar a resposta de culturas comerciais, cultivadas em um sistema de rotação de culturas, à aplicação de doses de P a lanço e em linha, bem como verificar o efeito acumulado de 7 anos de aplicação dessas doses na distribuição dos teores de P no perfil do solo manejado em sistema plantio direto.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na área da Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, município de Campos Novos, SC, região do Planalto Sul Catarinense, em um solo classificado como Nitossolo Vermelho (Embrapa Solos, 2004), manejado no sistema plantio direto (SPD). Na instalação do experimento o solo apresentou 68% de argila, 6,1 de pH em água, 5mg/dm³ de P, 179mg/dm³ de K, 4% MO, 9,5 e 6,9cmol/dm³ de Ca e Mg respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o esquema fatorial 2 x 5, totalizando 10 tratamentos, aplicados em quatro repetições em blocos casualizados. Os fatores constaram da aplicação de cinco doses (0, 20, 40, 60 e 80kg/ha) e dois modos de aplicação (a lanço e em linha) de P₂O₅. As doses foram aplicadas todos os anos nas culturas de verão, utilizando-se o superfosfato triplo. A aplicação das doses de P₂O₅ em linha foi feita em sulco aberto adjacente à linha de semeadura, o qual foi fechado após a colocação do adubo.

Foi utilizada uma rotação de culturas com a seguinte sucessão anual: milho/aveia-preta, feijão/centeio, feijão/vica, milho/aveia-preta, soja/aveia-preta + centeio, feijão/vica, milho/aveia-preta e soja/trigo. As unidades experimentais apresentavam 5 x 5m, perfazendo 25m² de área total, com uma área útil de 14,4m² para a cultura do milho, 4,5m² para a soja, 4m² para o feijão e 2,04m² para o trigo. O espaçamento entre linhas foi de 0,9m para o milho, 0,45m para a soja e o feijão e 0,17m para o trigo. Para viabilizar a análise das interações entre culturas e entre anos para uma mesma cultura, o rendimento físico de grãos de cada cultura e ano foi transformado em rendimento relativo, utilizando-se o rendimento máximo obtido entre as parcelas como referencial de 100%.

A adubação com nitrogênio (ureia) e potássio (cloreto de potássio) foi realizada conforme a recomendação de Sociedade... (1995), em função da análise do solo realizada no início do experimento, sendo aplicada na linha de semeadura por ocasião dessa operação. O milho, o feijão e o trigo receberam, também, adubação nitrogenada em cobertura, nas doses e épocas recomendadas para cada cultura. Na cultura da soja não foi aplicada adubação nitrogenada, realizando-se apenas a inoculação de sementes com *Rhizobium*. No sétimo ano de experimentação, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10 e 10 a 20cm de profundidade constituída de nove subamostras por parcela, sendo três coletadas na linha e seis na entrelinha da cultura, utilizando-se trado calador. Nessas amostras foi determinado o teor de P extraível, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Os teores de P no solo e o rendimento relativo das culturas foram submetidos à análise de variância. Para a análise dos teores de P no solo, consideraram-se os fatores forma de aplicação, doses de P e a interação entre esses fatores. Quando o teste F apresentou significância de 5% ou menos, foram ajustadas as equações de regressão que melhor descrevessem o rendimento relativo de grãos em função das doses de P aplicadas, com um coeficiente de determinação significativo de, pelo menos, 5%. O mesmo procedimento foi realizado

entre as doses aplicadas e o teor de P em cada camada de solo.

Resultados e discussão

Com relação à forma de aplicação (Tabela 1), somente houve diferença significativa no rendimento de grãos de feijão, com aumento de 363kg/ha com a aplicação do P na linha em relação à aplicação a lanço, indicando uma maior eficiência dessa forma de aplicação para a cultura do feijão. Para as culturas de trigo, milho e soja, a forma de aplicação de P não afetou o rendimento de grãos das culturas. Estes resultados diferem dos obtidos por Pottker (1997) em solo com teor médio de P, que observou maior eficiência no rendimento de trigo cultivado em SPD com aplicação de P em linha do que a lanço, embora a aplicação de P nas duas formas tenham proporcionado aumento no rendimento dos grãos.

As diferentes respostas das culturas às formas de aplicação de P e a dinâmica do SPD podem explicar as diferenças nos resultados obtidos neste trabalho e por outros autores. Segundo Santos et al. (2008), o efeito da forma de aplicação de fertilizantes fosfatados depende de fatores de solo e de planta, ponderando que alguns trabalhos que demonstraram eficiência agrônômica semelhantes quando o P foi aplicado em linha, lanço ou faixa foram obtidos com incorporação de doses altas na camada arável, manejo diferente da aplicação na superfície no SPD.

Tabela 1. Rendimento físico de grãos das culturas em função da forma de aplicação do fósforo. Média dos cinco tratamentos com doses de P₂O₅/ha

Cultura	Forma de aplicação	
	Lanço	Linha
 kg/ha	
Milho	6.856a	7.097a
Soja	2.899a	2.628a
Feijão	1.647b	2.010a
Trigo	1.410a	1.423a

Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem significativamente entre si (Tukey, p < 0,05). Milho (3 safras); soja (2 safras); feijão (2 safras); e trigo (1 safra).

Verificou-se resposta de efeito linear e positiva no rendimento relativo de grãos de milho e de trigo à aplicação de doses crescentes de P no solo (Figura 1). Na faixa de doses de fósforo estudadas, para cada quilo de P_2O_5 aplicado nessas culturas houve aumento de 0,23 e 0,33 ponto percentual no rendimento relativo do milho e do trigo respectivamente. A soja e uma safra de feijão apresentaram, respectivamente, resposta de efeito quadrático e exponencial às doses de P aplicadas. O máximo rendimento relativo de grãos de soja foi obtido com apli-

cação de 51kg/ha e de grãos de feijão com 80kg/ha de P_2O_5 . Observou-se, ainda, que o rendimento relativo de grãos de trigo, soja, milho e feijão quando não foi aplicado P no solo foi de 45,2%, 62,9%, 61,3% e 37,3% respectivamente.

A pequena resposta de rendimento às doses de P aplicadas pode ser explicada pelo fato de as culturas estarem inseridas em um sistema de sucessão com várias culturas, sendo também afetadas pelas culturas cultivadas anteriormente e pela adoção do SPD, que foi se consolidando à medida

que transcorria o tempo de condução do experimento. Os efeitos positivos do manejo do solo e da rotação de culturas na produção de grãos de milho foram constatados por Santos & Tomm (2002), que verificaram maiores rendimentos de grãos no SPD em relação aos demais sistemas, bem como no sistema de rotação de três anos (dois cultivos de soja e um de milho) em relação à rotação de dois anos (um cultivo de soja e um de milho). No SPD, o efeito da sucessão de culturas com habilidades diferenciadas ►

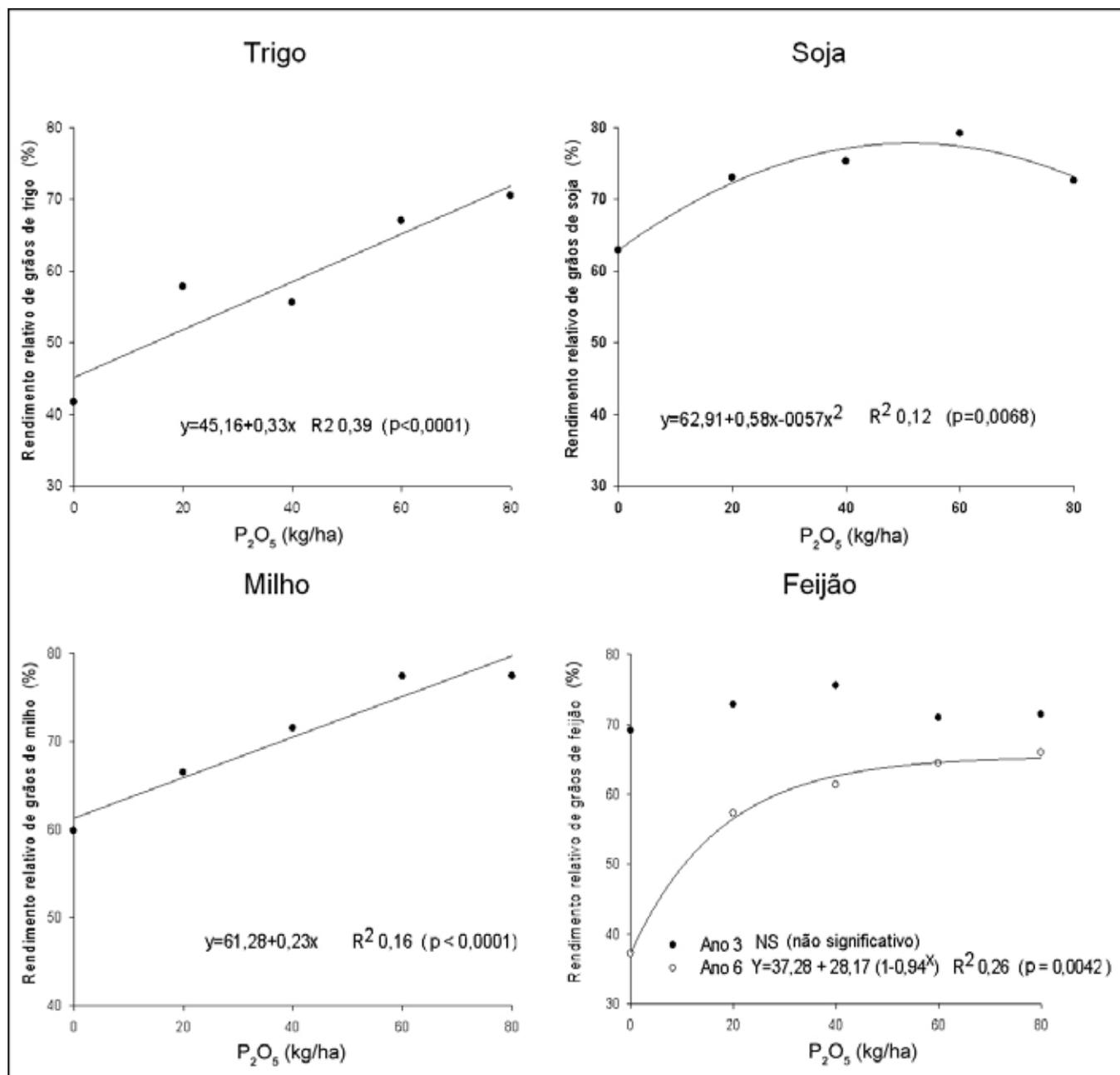


Figura 1. Rendimento relativo de grãos de trigo (1 safra), soja (2 safras), milho (3 safras) e feijão (2 safras), em função de doses de P_2O_5 aplicadas em cada cultura comercial, em um Nitossolo Vermelho

quanto à absorção e à acumulação de P associadas à manutenção da palha na superfície resulta em uma série de transformações que podem conduzir a uma menor adsorção do P no solo, maior disponibilidade dele às plantas e maior coeficiente de aproveitamento pelas culturas (Sá, 1999).

Fósforo no solo

Observou-se que as doses de P aplicadas apresentaram efeito exponencial na elevação dos teores de P nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10cm de profundidade, tanto na aplicação em linha como a lanço (Figura 2). O efeito exponencial das doses sobre os teores de P nas camadas superficiais do solo pode ser explicado pela saturação gradativa da capacidade de retenção de P no solo nessas camadas, reduzindo a energia de ligação do fosfato com os colóides do solo e, assim, aumentando os teores de P disponíveis ou lábeis (Conte et al., 2003).

Verificou-se que tanto a aplicação a lanço como em linha aumentou o

teor de P no solo, principalmente nas camadas superficiais, sendo maiores quando as doses foram aplicadas na linha (Figura 1). Maiores teores de P no solo com a aplicação na linha também foram observados por Model & Anghinoni (1992), que afirmaram que os teores de P e K no solo aumentam com a redução do volume de solo fertilizado. Segundo esses autores, isso ocorre porque a redução do contato entre o fertilizante e o solo diminui a intensidade das reações de adsorção do P pelos grupos funcionais reativos do solo. Esse aspecto é potencializado quando são aplicadas doses maiores, como mostra o efeito exponencial das doses sobre o teor de P extraível nas camadas superficiais do solo.

Efeito significativo de doses de P na distribuição de P extraível até 10cm de profundidade foi verificado após 8 anos de SPD por Santos (2009) em um Latossolo Vermelho Distrófico no cerrado adubado anualmente, independentemente da forma de aplicação, da fonte de P e dos extratores químicos utilizados

para sua determinação. Embora o efeito das doses em aumentar o teor de P no solo tenha sido significativo até 10cm, verificaram-se maiores valores até 5cm de profundidade, principalmente na dose de 80kg de P_2O_5 /ha (Figura 2). O acúmulo de P nas camadas superficiais de solo manejado sob SPD, principalmente até 5cm de profundidade, foi também constatado em outros estudos (De Maria & Castro, 1993; Santos & Siqueira, 1996), sendo explicado pelo fato de, nesse sistema, ser promovido mínimo revolvimento do solo e a aplicação do adubo ser realizada no sulco de semeadura ou a lanço sobre o solo.

Conclusões

- A aplicação de P no solo aumentou o rendimento de grãos de todas as culturas, com resposta de efeito linear para as culturas de trigo e milho, quadrática para a cultura da soja e exponencial para uma das safras da cultura do feijão.
- A aplicação do P em linha foi mais

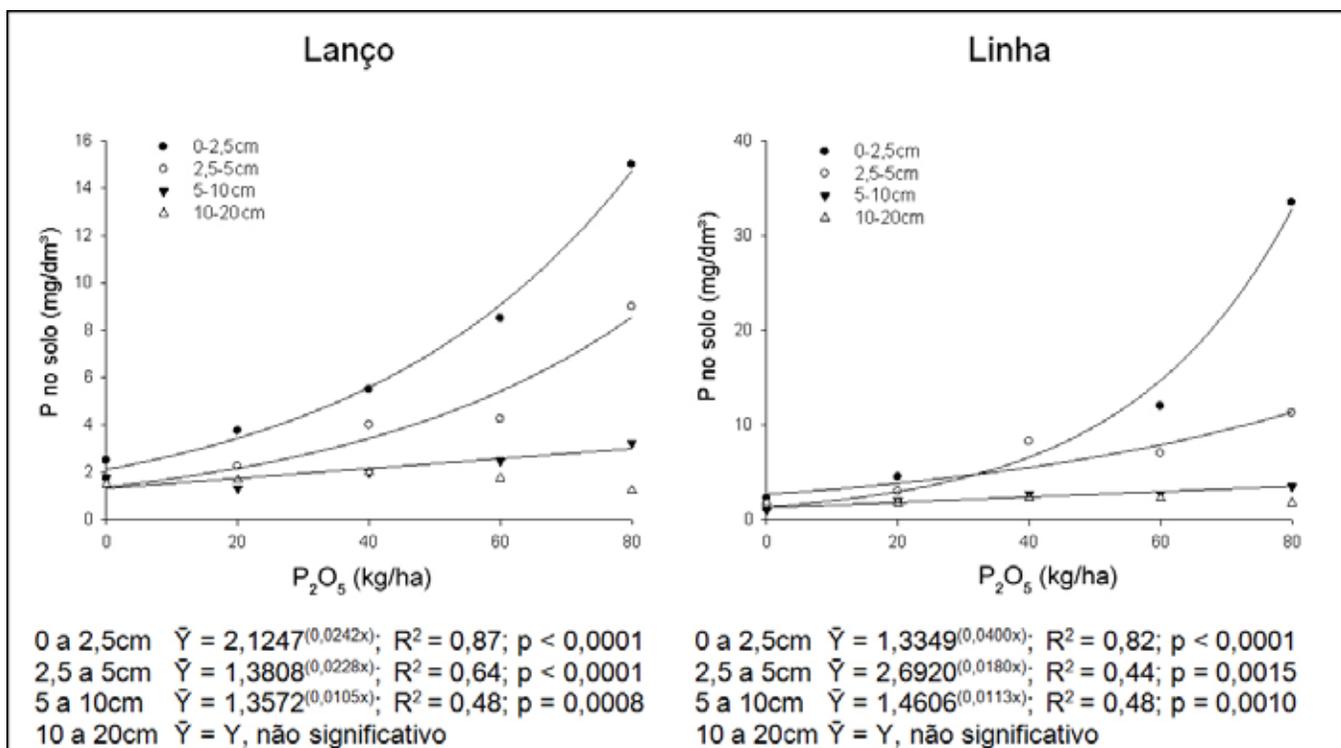


Figura 2. Equações e coeficientes de determinação entre os teores de P no solo e as doses de P_2O_5 aplicadas a lanço e em linha em cada cultura comercial, em amostras coletadas em quatro camadas de solo no sétimo ano de experimentação

eficiente do que a lanço para a cultura do feijão, mas a forma de aplicação não afetou o rendimento das demais culturas.

• Houve acúmulo de P nas camadas superficiais do solo, apresentando uma relação exponencial com as doses aplicadas nas camadas amostradas até 10cm de profundidade, tanto na aplicação a lanço como na linha.

Literatura citada

1. BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.
2. BORGES, R.; MALLARINO, A.P. Grain yield, early growth, and nutrient uptake of no-till soybean as affected by phosphorus and potassium placement. **Agronomy Journal**, v.92, p.380-388, 2000.
3. 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, 2003.
4. DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, n.3, p.471-477, 1993.
5. EMBRAPA SOLOS. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPQ, 2004. 1 CD-ROM; mapa color. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
6. ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230p.
7. GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciência Rurais, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.
8. LOPES, A.S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L.R.G. et al. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.
9. MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.1, p.55-59, 1992.
10. PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1779-1784, 2004.
11. POTTKER, D. Modos de aplicação de fósforo para uma seqüência de culturas em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
12. 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.
13. SÁ, J.C. de M. Manejo e fertilidade do solo em plantio direto. In: Siqueira et al. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.267-319.
14. SANTOS, D.B.M. **Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto**. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
15. 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 – Revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p. 576-586, 2008.
16. SANTOS, H.P.; SIQUEIRA, O.J.W. de. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: Efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n. 1, p.163-169, 1996.
17. SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de manejo de culturas sobre o rendimento de grãos de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2002.
18. SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, n. 3, p.249-254, 1985.
19. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: SBCS/ Núcleo Regional Sul: Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC, 1995. 224p.
20. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS/ Departamento de Solos, 1995. 174p.
21. ZUCARELI, C.; PRANDO, A.M.; RAMOS JUNIOR, E.U.R. et al. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.32-38, 2011. ■