



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbc.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Cubilla, Martin Maria; Carneiro Amado, Telmo Jorge; Wendling, Ademir; Foletto Eltz, Flávio Luíz;
Mielniczuk, João
CALIBRAÇÃO VISANDO À FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE
GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1463-1474
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061023>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CALIBRAÇÃO VISANDO À FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI⁽¹⁾

**Martin Maria Cubilla⁽²⁾, Telmo Jorge Carneiro Amado⁽³⁾, Ademir
Wendling⁽⁴⁾, Flávio Luíz Foletto Eltz⁽⁵⁾ & João Mielniczuk⁽⁶⁾**

RESUMO

Atualmente, em torno de 60 % da área de cultivo de grãos do Paraguai está sob sistema plantio direto (SPD). Com a expansão desse sistema conservacionista no país, surgiram questionamentos quanto à adequação das recomendações de fertilizantes, especialmente de P, pois elas foram elaboradas com base em experimentos realizados sob sistema convencional de preparo de solo e com defasagem de tempo de 15 anos. O principal objetivo deste trabalho foi gerar recomendações atualizadas de adubação fosfatada para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD. Para isso, no período de 2003 a 2005 foram realizados experimentos de calibração em rede, abrangendo sete diferentes locais na região oriental do Paraguai. Esses experimentos foram realizados sob SPD em solos com diferentes históricos de sistemas de manejo, texturas e níveis de fertilidade, em regiões representativas da produção de grãos. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais, quando da implantação, foram adubadas com cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), visando à criação de níveis de fertilidade. Após implantação do experimento, no segundo cultivo foram criadas as subparcelas, nas quais foram aplicadas quatro doses de P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅). A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo, sendo todas as aplicações realizadas a lanço. O potássio, nitrogênio e calagem foram aplicados uniformemente, em quantidades não limitantes, em todas as parcelas. A amostragem de solo foi feita antes da implantação do experimento e após cada colheita com 10 subamostras, para compor

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado pela Câmara Paraguaia de Exportadores de Oleaginosas – CAPECO. Recebido para publicação em novembro de 2006 e aprovado em julho de 2007.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo. Sucre 2002 Assunção Paraguai. E-mail: cubilla@ksu.edu

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97110-970 Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Mestre em Ciência do Solo, BASE Precisão na Agricultura. Santa Maria (RS). Av. Roraima 03, Caixa Postal 5053, 970 Santa Maria (RS). E-mail: ademir@hcccap.ufsm.br

uma amostra por subparcela, sempre na profundidade de 0–10 cm. Neste trabalho, a construção da disponibilidade de P sob SPD foi mais influenciada pelo teor inicial do nutriente e histórico de adubação do que pela textura do solo. Em solos com baixo teor inicial de P e com histórico de adubação limitada, foi necessário aplicar em média 35,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ de P disponível no solo. Por outro lado, para solos com teor médio a alto e com histórico de adubação adequada, foi preciso aplicar 18,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O teor crítico de P encontrado neste trabalho foi ligeiramente superior ao anteriormente proposto. Assim, o teor crítico estimado, com base em Mehlich-1, para solos com 410–600 g kg⁻¹ de argila (classe 1) foi de 12 mg dm⁻³, e para solos com 210 a 400 g kg⁻¹ de argila (classe 2) foi de 15 mg dm⁻³. Com base nessas informações, foi apresentada uma recomendação preliminar de fertilização fosfatada adaptada ao SPD no Paraguai.

Termos de indexação: fertilidade do solo, conservação do solo, teor crítico, curva de resposta, soja, milho, trigo.

SUMMARY: CALIBRATION OF PHOSPHORUS FERTILIZATION RATES FOR MAIN GRAIN CROPS UNDER NO-TILL IN PARAGUAY

Presently, approximately 60 % of the grain crop area in Paraguay is under no-till (NT). With the expansion of NT in the country, some doubts were raised with respect to the obsolescence of fertilizer recommendations, especially regarding phosphorus (P). The last P fertilizer recommendation had been established for conventional soil tillage system 15 years earlier. The main objective of this work was to update phosphate fertilizer recommendations for wheat, corn and soybean under NT. Seven different locations in eastern Paraguay were evaluated in a experimental calibration net. The experiments were carried out from 2003 to 2005 in a range of soils with different preceding soil management systems, textures and initial soil fertility levels, in representative regions of the grain production area under NT. The experimental design was randomized blocks with split plots and three repetitions. In the first season the main plots received five P rates (0, 50, 100, 200, and 400 kg ha⁻¹ of P₂O₅) to establish different soil fertility levels. In the second season, four P rates (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅) were applied on the split plots to obtain the crop response curve. The phosphorus source was triple super phosphate, broadcast on soil surface. The building up of P in NT was more influenced by the initial P level than by soil texture. In soils with low initial P level it was necessary to apply 36.5 kg ha⁻¹ P₂O₅ to increase available soil P by 1 mg dm⁻³, while in soils with medium to high initial P, 18.6 kg ha⁻¹ was needed. The sufficient P level obtained in this study was slightly higher than predicted by the previous recommendation. Thus, the sufficiency P level (Mehlich-1) for soils ranging from 410 to 600 g kg⁻¹ clay is 12 mg dm⁻³ and for soils ranging from 210 to 400 g kg⁻¹ clay is 15 mg dm⁻³. This paper proposes a preliminary P fertilization recommendation adapted to no-till in Paraguay.

Index terms: soil fertility, soil conservation, sufficient P level, phosphorus response curve, soybean, maize, wheat.

INTRODUÇÃO

A superfície total do Paraguai é de 406.752 km², dos quais 159.827 km² (39,3 %) correspondem à Região Oriental do país e os restantes 60,7 % pertencem à Região Ocidental ou Chaco Boreal. A Região Oriental está mais desenvolvida do que a Região Ocidental devido a fatores climáticos e geográficos, concentrando 98,6 % da população do país. Em 2004, aproximadamente 60 % da área sob cultivo agrícola no Paraguai

Com o avanço da adoção do SPD no Paraguai, surgiram dúvidas quanto à adequação das recomendações de fertilizantes, especialmente as de P, que foram elaboradas com base em experimentos realizados sob sistema convencional de preparo de solo (aração + gradagens) (Fatecha, 1999), portanto, em condições muito distintas daquelas do atual sistema de conservação, que se caracteriza pelo não revolvimento e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo.

mudanças verificadas na fertilidade do solo sob SPD consolidado, destacam-se: (a) redução da adsorção de P na superfície de óxidos devido ao menor revolvimento, fato que anteriormente ocorria com intensidade quando os solos tropicais eram submetidos a freqüente mobilização (Eltz et al., 1989; Sá, 1993; Martins & Gonçalves, 1997); (b) elevada concentração superficial de nutrientes, notadamente o P, especialmente na camada de 0 a 0,05 m, raramente ultrapassando a profundidade de 0,10 m (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1986; Eltz et al., 1989; Sá, 1993; Schlindwein & Anghinoni, 2000); (c) incremento do teor de matéria orgânica nessa mesma camada superficial (Sidiras & Pavan, 1986; Bayer et al., 2000; Schlindwein & Anghinoni, 2000; Amado et al., 2002), que obstrui parcialmente os sítios de adsorção de P e aumenta o armazenamento de água no solo, permitindo melhor aproveitamento pelas plantas dos fertilizantes aplicados; e (d) redução nas perdas de solo e de nutrientes por erosão, devido à proteção proporcionada pelos resíduos culturais mantidos na superfície do solo (Eltz et al., 1989). Essas alterações na fertilidade do solo, induzidas pelo SPD, podem influenciar a disponibilidade de nutrientes às plantas e, conseqüentemente, as recomendações de adubação.

Nas últimas duas décadas, com a adoção do SPD, foram introduzidas significativas mudanças na produção de grãos no Paraguai, com reflexos na fertilidade do solo, destacando-se a amostragem do solo, que passou a ser feita na camada de maior concentração de nutrientes (0–0,10 m), e o gradativo incremento de produtividade média das principais culturas, devido ao melhoramento genético e ao aprimoramento das práticas de manejo. Exemplificando, na década de 1980 a produtividade de soja era de 1,67 t ha⁻¹, com produção total de 1,6 Mt; já na década de 1990 a produtividade subiu para 2,64 t ha⁻¹, com produção total de 3,2 t (FAOSTAT, 2005).

No Paraguai ainda são escassas as informações a respeito dos ajustes necessários na recomendação de fertilizantes, em geral, e de P, especificamente, para acompanhar os recentes avanços introduzidos no sistema produtivo, com destaque para a adoção do SPD. Esse fato é o objeto central deste trabalho. Para isso, foram realizados experimentos de calibração em rede, em diferentes localidades, visando à obtenção de recomendação preliminar de adubação fosfatada para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD.

MATERIAL E MÉTODOS

A Região Oriental do Paraguai, onde foram realizados os experimentos, localiza-se entre as

é classificado, segundo Köppen, como Cfa subúmido, mesotérmico, com verões quentes e com geadas ocasionais. As chuvas ocorrem com freqüência na primavera/verão, sem estação definida. A precipitação média anual oscila entre 1.300 mm a oeste e 1.900 mm a leste dessa temperatura média mensal do ar varia de 1

As áreas experimentais foram selecionadas com base na representatividade agrícola, classificação do solo, teor inicial de P, histórico de adubação, sistemas de manejo e no tempo de adoção do SPD. Assim, sete experimentos foram implantados em diferentes regiões do país, sendo dois no Departamento de Misiones (M1 e M2), dois no Departamento de Itapúa (I1 e I2), dois no Departamento de Alifan (AP1 e AP2) e um no Departamento de Areguá (PJC1) (Figura 1).

No quadro 1 são apresentadas as principais características químicas do solo de cada área experimental, antes da instalação do experimento. No entanto, a classificação dos solos utilizada foi a do Sistema de Classificação Americana (Soil Taxonomy), que é a adotada no Paraguai (López et al., 1995), e a correspondente ao tipo de solo. Anteriormente à implantação dos experimentos as áreas eram utilizadas com diferentes sistemas de manejo (produção de grãos e pastagem) e com diferentes tempos de adoção de SPD (Quadro 1). Os principais tipos de cultura utilizados nos experimentos foram trigo (*Triticum aestivum* L.) / soja (*Glycine max* L.) / milho / trigo e milho (*Zea mays* L.) / trigo, sendo predominantes nas regiões agrícolas investidas.

O delineamento experimental utilizou-se de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas em repetições. As parcelas principais, visando à criação de níveis de fertilidade, foram adubadas com os experimentos M1 e I1, no mês de maio de 2003, com cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), sendo posteriormente cultivado o trigo. Em maio de 2003, essas áreas foram divididas em duas parcelas iguais, nas quais foram cultivadas a soja e o milho, criadas as subparcelas, por meio da aplicação de doses de P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), visando à obtenção de curva de resposta nos diferentes níveis de fertilidade anteriormente criados. Para os experimentos locais (M2, I2, AP1, AP2 e PJC1), o experimento foi iniciado seis meses após a implantação do SPD, nas culturas de verão, com a adubação com os níveis de fertilidade. Em maio de 2003, nessas locais, foram criadas as subparcelas com o milho / trigo. Assim, em M1 e I1 foram cultivados dois anos de trigo e um ano de soja e milho, enquanto em M2, I2, AP1, AP2 e PJC1, um ano para cada cultura.

A adubação de criação de níveis de fertilidade foi feita uma vez por local, quando da instalação do experimento. Já as adubações visando à obtenção da curva de resposta (subparcelas) foram feitas em



Figura 1. Mapa do Paraguai com os Departamentos onde foram realizados os experimentos de cultivo (Departamentos de Misiones, Itapúa, Alto Paraná e Amambay).

Todos os experimentos foram realizados sob sistema plantio direto.

As sementeiras foram efetuadas nas épocas recomendadas pelas recomendações técnicas regionais, objetivando atingir as máximas produções das culturas. O trigo foi sempre semeado no mês de maio, enquanto o milho e a soja foram semeados em novembro. As cultivares utilizadas foram as mais cultivadas e produtivas, e nas regiões de condução dos experimentos não foi utilizada irrigação suplementar (Quadro 2).

As adubações de K e N foram mantidas constantes e satisfatórias para atender à demanda das culturas, utilizando-se para o primeiro nutriente a dose de 50 kg ha⁻¹ de K₂O nas culturas de trigo e de soja e

(30 kg ha⁻¹ na sementeira e 150 kg ha⁻¹ em cultivo pleno) aplicados no período dos 30 aos 40 dias após a sementeira. As fontes dos nutrientes utilizadas no trabalho foram: o cloreto de potássio, 58 % de K₂O, 41 % de uréia, 45 % de N; e o superfosfato triplo, 41 % de P₂O₅. As aplicações dos nutrientes foram realizadas manualmente a lanço; para isso, as subparcelas foram delimitadas com cordas nos quatro limites, exatamente a área de aplicação. No cultivo de milho a cultura do milho o N foi aplicado e manualmente, visando aumentar a eficiência de utilização do nutriente.

No cultivo de trigo, para medir a produção, coletaram-se três amostras ao acaso de cada parcela.

Quadro 1. Classificação de solo, localização geográfica dos experimentos, características químicas da argila na camada 0–10 cm, e histórico de manejo anterior à instalação dos experimentos. Paraguai, 2005

Local	Solo	Latitude	Longitude	pH H ₂ O	Argila	MO	P	K ⁺	Histórico de manejo anterior à instalação dos experimentos
					— g kg ⁻¹ —		mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	
M1	Ultisol ⁽¹⁾ Argissolo	26° 59' 55"	56° 45' 02"	5,2	250	25	11,9	0,12	PD estabelecido para produção de grãos com adubação adequada
M2	Ultisol ⁽¹⁾ Argissolo	26° 59' 05"	56° 44' 11"	5,1	250	27	4,3	0,32	Pastagem de braquiária com adubação limitada
I1	Oxisol ⁽¹⁾ Latossolo	26° 56' 07"	55° 38' 04"	5,6	475	30	12,7	0,53	PD estabelecido para produção de grãos com adubação adequada
I2	Ultisol ⁽¹⁾ Argissolo	27° 08' 54"	56° 03' 46"	6,2	355	25	3,5	0,50	PD em fase inicial implantado em milho com indícios de degradação por falta de grãos com adubação limitada
AP1	Oxisol ⁽¹⁾ Latossolo	25° 27' 23"	55° 02' 49"	5,3	395	29	7,6	0,52	PD estabelecido para produção de grãos com adubação adequada
AP2	Alfisol ⁽¹⁾ Latossolo	25° 58' 07"	55° 12' 49"	6,5	470	42	7,9	0,92	PD estabelecido para produção de grãos com adubação adequada
PJC1	Alfisol ⁽¹⁾ Latossolo	22° 39' 18"	55° 53' 36"	6,7	560	44	5,2	0,65	PD em fase inicial para produção de grãos com adubação limitada

M1: Misiones 1, M2: Misiones 2, I1: Itapúa 1, I2: Itapúa 2, AP1: Alto Paraná1, AP2: Alto Paraná2, PJC1: Pedro Juan Cerezo. Trigo, B: braquiária, M: milho, S: soja. (1) Classificação Americana de Solos, Soil taxonomy, utilizada no levantamento de solos no Paraguai (López et al., 1995). (2) PD estabelecido: plantio direto com mais de 10 anos sem preparo. PD em fase inicial: plantio direto com menos de 10 anos. (3) Adubação adequada: reposição integral dos nutrientes exportados via colheita; limitada: reposição parcial dos nutrientes exportados.

Quadro 2. Cultivares utilizadas nos anos e locais de condução do experimento. Paraguai, 2005

Experimento	Trigo/2003	Milho/2003/04	Soja/2003/04	Trigo/2004
M1 ⁽¹⁾	Itapúa 40	AS 3466/Agroeste	RR 5409	Itapúa 40
M2	-	As 3466/Agroeste	RR 5409	Itapúa 40
I1	Itapúa 50	Crioula ⁽²⁾	Guapa 5.5	Itapúa 40
I2	-	9010 Monsanto	Nidera 8000	Itapúa 40
AP1	-	-	Codetec 215	Itapúa 40
AP2	-	9010 Monsanto	Nidera 4910	Itapúa 40

subparcelas. Para o trigo de 2004 foi coletada uma área central de 3,2 m² por subparcela, com uma colhedora de precisão austriaca da marca Wintersteiger. As colheitas de trigo foram efetuadas no mês de outubro nos respectivos anos, enquanto as do milho e da soja foram efetuadas em março e abril de 2004, respectivamente. Todas as produtividades foram corrigidas para 13 % de umidade.

As coletas de solo foram feitas após cada colheita das culturas, sendo efetuadas 10 subamostras por subparcela, compondo uma amostra composta. Todas as amostras foram coletadas na camada de 0–10 cm de profundidade. As análises foram processadas no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria, seguindo método descrito por Tedesco et al. (1995). O método de laboratório para determinação do P foi o de Mehlich-1, utilizando o colorímetro.

O rendimento relativo das culturas foi obtido pela equação:

$$RR = \frac{\text{Rendimento da cultura na testemunha (sem P)}}{\text{Rendimento máximo da cultura}} \times 100 \quad (1)$$

em que RR = rendimento relativo em %.

O rendimento da cultura no tratamento sem P foi estimado pela função de produção ajustada, ou seja, o intercepto “a” da equação de regressão entre as doses de P e o rendimento de grãos. Para o valor de rendimento máximo da cultura foi utilizado o valor estimado pela equação de regressão. No caso do uso de equações lineares com respostas positivas à aplicação de P, o valor de rendimento máximo foi o correspondente à maior dose utilizada; no caso de resposta negativa, o rendimento máximo foi o correspondente à dose zero de P (intercepto da equação de regressão). Quando foram empregadas funções de regressão de segundo grau, utilizou-se a técnica de derivação das funções para obtenção do valor de rendimento máximo.

A curva de calibração foi obtida pela relação entre os teores de P no solo determinados pelo método Mehlich-1 e os valores de rendimento relativo calculado pela equação (1). A equação selecionada (2) para o ajuste dos dados da calibração foi a forma exponencial da equação de Mitscherlich, sendo esta equação forçada a alcançar o rendimento relativo de 100 %.

$$y = A (1 - 10^{-cx}) \quad (2)$$

em que y = rendimento relativo (RR); A = rendimento máximo; c = coeficiente de eficiência do P; e x = quantidade de P em kg ha⁻¹.

O teor crítico foi definido como a concentração do nutriente no solo necessária para alcançar 90 % do rendimento máximo da cultura, seguindo método utilizado nos programas de adubação do Rio Grande

O teor crítico foi utilizado para definir classes de fertilidade do solo. O limite superior da classe média foi igual ao teor crítico, que, dividido por três, estabeleceu o limite entre as classes baixa e média. Acima do teor crítico também foram estabelecidas duas classes de fertilidade, sendo o teor crítico multiplicado por dois para definição do limite entre as classes alta e muito alta, conforme metodologia da CQFSRS/SC (2004).

Para estimativa do poder-tampão de P, foram determinadas as equações de incremento de P disponível no solo às aplicações de doses de P nutriente. Nestas, o coeficiente de regressão das equações lineares correspondeu ao incremento de P em mg dm⁻³ por kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicado. Pela regra de três simples, foi determinada a quantidade de P₂O₅ necessária para elevar uma unidade de mg dm⁻³ de P disponível no solo. Essas informações, juntamente com dados de literatura, foram utilizadas para elaboração da recomendação de P para as culturas de grãos no Paraguai, a qual foi ajustada em referência a RENALAS (RENALAS, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação do teor crítico de fósforo

Os rendimentos das culturas de trigo, soja e milho nos experimentos foram compatíveis com os rendimentos médios obtidos em lavouras comerciais no Paraguai. Na maioria dos experimentos, a resposta à aplicação de P, exceto em situações de déficit hídrico regionalizado. Detalhes dos resultados foram apresentados por Cubilla et al. (2005).

O teor de argila do solo, devido à sua influência na disponibilidade de P às plantas, tem sido um dos principais fatores considerados nas recomendações de adubação (Mielniczuk et al., 1969a, b; UFRGS, 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1995; CFERS/SC, 1989, 1995). Atualmente, a CQFSRS/SC (2004) agrupou os solos desses Estados em três principais classes texturais. De forma semelhante, o teor de argila é considerado nas recomendações de adubação dos Estados de Paraná, Mato Grosso e Minas Gerais (Boletim..., 2005; Embrapa, 2005; CFSEM, 1995). No entanto, no Paraguai o teor de argila não é considerado na recomendação de P (Fatecha, 1999). Neste trabalho, foram utilizadas limitações referentes ao número de solos pesados, apenas duas classes texturais foram incluídas. Assim, em futuros trabalhos realizados no Paraguai, recomenda-se incluir solos com classes texturais diferentes das utilizadas nesta pesquisa.

CALIBRAÇÃO VISANDO À FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS...

estimou-se um teor crítico de P de 15 mg dm⁻³, avaliado pelo método Mehlich-1, e para a classe de 410 a 600 g kg⁻¹ encontrou-se um teor crítico de 12 mg dm⁻³ (Figura 2).

Segundo a CQFSRS/SC (2004), o teor crítico de P no solo para a primeira classe de argila é de 12 mg dm⁻³ e, para a segunda, de 9 mg dm⁻³. Portanto, os valores de teores críticos de P encontrados nesta pesquisa sob SPD, nas classes texturais investigadas, foram superiores aos propostos pela CQFSRS/SC (2004). De forma semelhante, em Mato Grosso, em pesquisa realizada recentemente pela Fundação MT (Boletim..., 2005), foram determinados, para essas mesmas classes de argila, teores críticos de 18 e 12 mg dm⁻³, respectivamente. Esses resultados confirmam o teor crítico de P encontrado no presente trabalho para a classe textural mais argilosa. No entanto, para a

primeira classe o teor crítico encontrado pela Fundação MT foi 20 % superior ao deste trabalho e 50 % superior ao proposto pela CQFSRS/SC (2004). Schlindwein (2003), investigando experimentos sob SPD, encontrou, para a classe de 410 a 550 g kg⁻¹, um teor crítico de 21 mg dm⁻³, portanto, ainda superior aos anteriores.

Os maiores teores críticos de P encontrados neste trabalho, e em outros realizados recentemente, podem ser explicados, em parte, pelo melhoramento genético que proporcionou maior potencial de rendimento das culturas avaliadas, as quais, por essa razão, demandam maior quantidade de nutrientes (Schlindwein, 2003). Acresce-se a esse fato a adoção do sistema de preparo, que passou do convencional para o plantio direto, e a profundidade de aração que passou a ser feita na camada mais superficial.

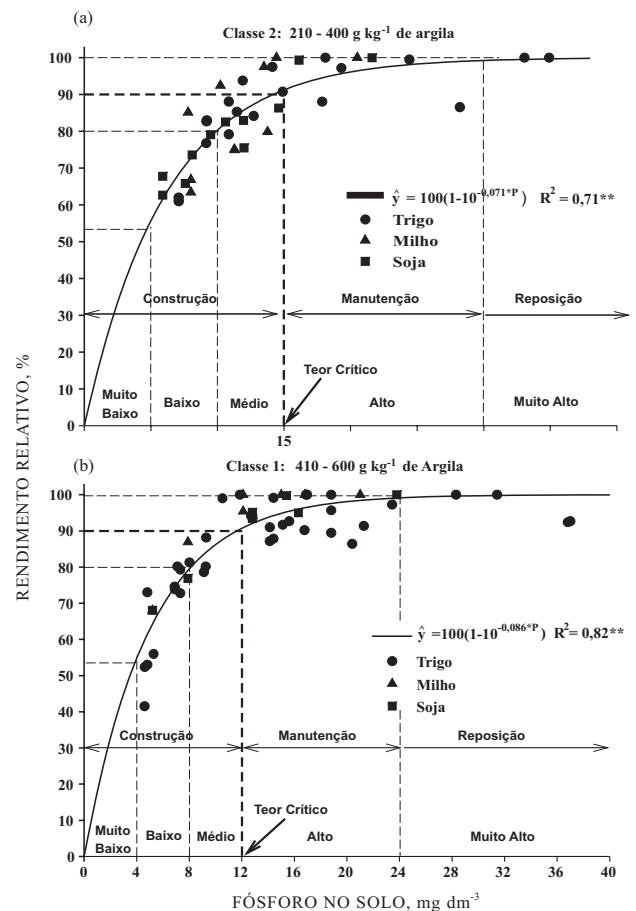


Figura 2. Teor crítico de fósforo disponível no solo na profundidade de 0,0-10 m, determinado por...

onde se verifica maior concentração do nutriente. Esses fatores associados demandam que, de tempos em tempos, os teores críticos dos nutrientes sejam reavaliados, objetivando ajuste da fertilização ao sistema produtivo adotado.

Schlindwein & Anghinoni (2000) encontraram, em experimentos de longa duração sob SPD, concentração de P, aproximadamente, 50 % maior na camada de 0–0,10 m do que na de 0–0,20 m de profundidade. Esse fato justificaria a necessidade de elevação do teor crítico do nutriente, quando da amostragem superficial sob SPD em relação à amostragem na camada de 0–0,20 m. Por sua vez, Schlindwein (2003) encontrou teores críticos de P, analisados pelo método Mehlich-1, mesmo para a camada de 0–0,20 m de profundidade, maiores em solos sob SPD do que sob preparo convencional. Esse resultado sugere que, além do efeito de concentração do P, nesse sistema conservacionista, outros processos, como o incremento no potencial de rendimento das culturas, contribuem para elevação do teor crítico do nutriente.

A recomendação de P atualmente utilizada no Paraguai foi feita com base em experimentos realizados na Região Oriental, em solos sob sistema convencional de cultivo, e não faz distinção de classe textural, estabelecendo o teor crítico médio de 12 mg dm⁻³, avaliado pelo método Bray (Fatecha, 1999). Esse valor correspondeu ao teor crítico proposto para solos com textura de 410 a 600 g kg⁻¹ de argila, que coincide com a maioria dos solos da Região Oriental, porém analisado pelo método Mehlich-1. Para a classe

textural menos argilosa, o teor crítico encontrado no presente trabalho foi superior ao anteriormente proposto por Fatecha (1999).

Uma vez definido o teor crítico de P, para a análise escolhido e a profundidade de amostragem, faz-se necessário detalhar cada porção da resposta, estabelecendo-se as faixas de intensidade agronômica (CQFSRS/SC, 2004). Essas faixas subdivididas equidistantemente com base no teor do nutriente no solo, com maior detalhamento nas faixas de maior probabilidade de resposta à aplicação de fertilizante (CQFSRS/SC, 2004). Assim, os teores críticos de P no solo, ajustados pela equação de Mitscherlich, representaram o limite superior da média, sendo esses valores utilizados como base para obter as demais faixas (Figura 2).

Construção da disponibilidade de fósforo no solo sob sistema plantio direto

Neste trabalho, o incremento dos teores de P disponível sob SPD foi influenciado pelo histórico de adubação fosfatada e de manejo das áreas (Cubilla et al., 2013). Assim, os experimentos M2, I2 e PJC 1 produziram áreas com manejo inadequado do solo, caracterizado por presença de erosão ou histórico de adubação fosfatada limitada, ou seja, ao longo dos anos foram aplicadas doses inferiores à exportação do nutriente nos grãos ou mesmo não foram fertilizadas, resultando em reduzido teor de P disponível. Em contrapartida, as áreas dos experimentos M1, I1, AP1 e AP2 (Cubilla et al., 2013) vinham sendo manejadas sob SPD, em gerações sucessivas.

Quadro 3. Quantidade necessária de P₂O₅ em kg ha⁻¹ para elevar em 1 mg dm⁻³ o teor de P disponível em solos com diferentes históricos de adubação fosfatada sob sistema plantio direto. Paraguai, 2012.

Experimento	Teor de argila	R ²	Equação	P ₂ O ₅ para elevar em 1 mg dm ⁻³ o teor de P disponível
	g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹
Solos com histórico de adubação adequada				
M 1 ^{1/2}	250	0,99	$\hat{y} = 12,0 + 0,046 P$	21,6
I 1	470	0,99	$\hat{y} = 12,4 + 0,048 P$	20,6
AP 1	395	0,99	$\hat{y} = 5,99 + 0,067 P$	15,0
AP 2	470	0,99	$\hat{y} = 6,32 + 0,058 P$	17,2
Média	396	0,99	$\hat{y} = 9,18 + 0,055 P$	18,6
Solos com histórico de adubação limitada				
M 2	250	0,99	$\hat{y} = 7,30 + 0,021 P$	46,9
I 2	355	0,99	$\hat{y} = 3,68 + 0,031 P$	31,9
PJC 1	560	0,98	$\hat{y} = 4,94 + 0,037 P$	27,0

de 10 anos, e com histórico de adubação fosfatada adequada; portanto, com dose compatível com as exportações do nutriente via colheita.

No quadro 3 constata-se que, para os solos com histórico de adubação limitada, houve aumento médio de $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível, determinado por Mehlich-1, para cada 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados. Já para os solos com histórico de adubação adequada o aumento médio foi de $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível, para a mesma quantidade de fertilizante aplicada. Portanto, este segundo incremento foi 46 % superior ao primeiro. Dessa forma, em solos com histórico de adubação adequada e não-revolvimento, há gradual saturação dos sítios de adsorção da camada superficial, resultando em menor quantidade de fertilizante necessária para construção dos níveis de P. Esse fato pode ser atribuído a um efeito combinado do bloqueio de sítios de adsorção de P por moléculas orgânicas provenientes das adições continuadas de resíduos vegetais, da saturação desses sítios em razão de sucessivas aplicações superficiais de fertilizantes e, finalmente, dos incrementos das percentagens de P-lável e P associado à biomassa microbiana (Selles et al., 1997; Oliveira et al., 2002; Lopes et al., 2004). Com isso, há possibilidade de maior eficiência dos fertilizantes fosfatados sob SPD consolidado. Por outro lado, em solos com histórico de adubação limitada e com baixo teor inicial de P disponível para as plantas, o caráter-dreno predomina sobre o caráter-fonte, resultando em menor elevação dos teores no solo com a aplicação do fertilizante fosfatado (Novais & Smyth, 1999; Oliveira et al., 2002; Lopes et al., 2004).

Os resultados apresentados no quadro 3 sugerem que na fase inicial de adoção do SPD a construção da disponibilidade de P exige maior quantidade de fertilizante fosfatado. Contudo, com o transcorrer dos anos de fertilização e de adoção do sistema, verifica-se gradual saturação dos sítios localizados na camada superficial, permitindo que a construção da disponibilidade ocorra de forma mais intensa e rápida. Rheinheimer & Anghinoni (2001) sugerem que, após saturação dos sítios mais ávidos, o P residual seja redistribuído em frações com menor energia de retenção e, por isso, de maior capacidade de desorção, aumentando a disponibilidade de P às plantas. Além dos aspectos inerentes à química do solo, devem ser considerados outros – relacionados à atividade biológica, ciclagem de nutrientes e redução de perdas de P – verificados sob SPD consolidado.

Neste trabalho, o incremento dos teores de P no solo sob SPD, induzido por doses de adubação fosfatada aplicada a lanço, foi mais influenciado pelo teor inicial do nutriente e histórico de adubações do que pelo teor de argila (Quadro 3). Assim, constatou-se que foram necessários em média $18,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} o teor de P disponível nos experimentos

elevar o teor de P em 1 mg dm^{-3} nos experimentos realizados com histórico de adubação limitada (I1 e I2 e PJC1). Dessa forma, a quantidade de fertilizante necessária para elevar o teor de P disponível foi duas vezes superior naqueles com histórico de adubação limitada do que naqueles com histórico de adubação adequada.

Quando os solos com histórico de adubação adequada foram separados em duas classes – de 250 a 400 g kg^{-1} de argila (M1 e AP1) e de 600 g kg^{-1} de argila (I1 e AP2) –, observou-se que a primeira classe de solos demandou adição de $18,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de P disponível, enquanto a segunda, $18,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . Portanto, não houve diferença em função da classe textural, como foi verificado anteriormente sob sistema de SPD convencional. Os resultados observados neste trabalho, provavelmente, estão associados aos efeitos combinados de mínima mobilização do solo, baixa concentração de P na camada superficial, não ocorrência da aplicação superficial de adubo fosfatado e da pequena redistribuição vertical do nutriente no solo, e, ainda, ao maior teor de matéria orgânica na camada superficial. Dessa forma, ficou evidente que não haver influência do teor de argila (na faixa de 250 e 600 g kg^{-1}) na elevação do teor de P disponível nas áreas sob SPD consolidado e com histórico de adubação adequada; por outro lado, ressaltou-se a importância do teor inicial de P do solo. No entanto, devido ao fato de que o número de solos investigados neste trabalho foi reduzido, devendo esse resultado ser confirmado em um conjunto maior de solos.

Recomendação preliminar de adubação com fósforo sob sistema plantio direto no Estado do Paraguai

O conceito de adubação proposto para o Estado do Mato Grosso do Sul foi adaptado do atualmente utilizado no Brasil (Gianello & Wiethölter, 2004). O sistema de adubação é composto por uma adubação corretiva, para elevar o teor de P abaixo do teor crítico, e de manutenção/reposição, para manter as faixas acima deste teor. Considerando as condições econômicas da maioria dos produtores do Estado do Mato Grosso do Sul, optou-se por uma adubação corretiva gradual, em vez de uma adubação de manutenção. Assim, as correções do teor de P no solo foram calculadas para atingir o teor crítico em três cultivos. Com base nos resultados apresentados no quadro 3, foi estimado que, em média, havia necessidade de adicionar $18,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de P disponível no solo. Assim, a dose de correção de P_2O_5 para as faixas de teor de P baixa e baixa foi obtida multiplicando-se o valor do teor de P pela diferença entre o valor do teor crítico e o teor atual, superior da faixa em questão (CQFSRS/SC). O valor obtido foi parcelado em 50, 30 e 20 % para os primeiros, segundos e terceiros anos de cultivo, respectivamente (Quadro 4). Para a faixa de teor de P

Quadro 4. Recomendação preliminar de adubação fosfatada corretiva de P₂O₅ para trigo, milho e soja em sistema plantio direto. Paraguai, 2005

Classe	Recomendação para três cultivos		
	Primeiro cultivo	Segundo cultivo	Terceiro cultivo
	kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅		
Muito baixo	80 + M	70 + M	50 + M
Baixo	35 + M	35 + M	30 + M
Médio	25 + M	M	M
Alto	M ^{2/}	M	M
Muito alto	R ^{1/}	R	R

⁽¹⁾ R: reposição (exportação das culturas). O valor R para as seguintes culturas é: trigo: 10 kg de P₂O₅, milho: 8 kg de P₂O₅ e soja: 12 kg de P₂O₅ por t de grãos produzidos. ⁽²⁾ M: manutenção (R x 1,25). O fator 1,25 corresponde a possíveis perdas do sistema de manejo.

os teores no solo a níveis próximos ao máximo retorno econômico (CQFSRS/SC, 2004). Essa recomendação é apresentada de forma preliminar, devendo passar por uma validação de campo, por meio do acompanhamento de lavouras comerciais.

A adubação de manutenção foi estimada com base na exportação de grãos, acrescida de 25 %, para compensar possíveis perdas do sistema. As culturas de milho e trigo exportam em média 8 e 10 kg de P₂O₅ por t de grãos produzidos, respectivamente. A soja apresenta exportação do nutriente superior à dessas culturas, alcançando 14 kg de P₂O₅ por t de grãos (CQFSRS/SC, 2004). No entanto, segundo o Boletim de Pesquisa de Soja (2005), o valor médio de exportação da oleaginosa seria de 10 kg de P₂O₅ ha⁻¹ por t de grãos. Neste trabalho, optou-se por utilizar uma média desses valores, estabelecendo-se 12 kg de P₂O₅ por t de grãos de soja produzidos. Assim, a dose para manutenção proposta foi de 10, 12,5 e 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅, por t de grãos produzidos de milho, trigo e soja, respectivamente.

Por outro lado, quando o teor do nutriente no solo se encontrar na faixa alta, o objetivo da recomendação será de manter o teor nesta faixa. Quando o teor do nutriente no solo estiver na faixa muito alta, as adubações poderão ser somente de reposição, ou até mesmo poderão ser temporariamente dispensadas, devido à relação de preços entre o insumo e o produto (Gianello & Wiethölter, 2004).

2. Em solos com baixo teor de P e com baixa adubação limitada é necessário aplicar 35,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg de P disponível no solo; para solos com teor médio de P e com histórico de adubação adequada, é necessário aplicar 18,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Essas quantidades mostraram relação com a granulometria do solo utilizado o valor médio de 25 kg ha⁻¹ de P para elevação de 1 mg dm⁻³ de P disponível no solo para o estabelecimento da adubação corretiva.

AGRADECIMENTOS

À CAPECO (Câmara Paraguaia de Exportação de Cereais e Oleaginosas), pelo financiamento da pesquisa; ao Eng.-Agr. Luis Enrique Cubilla, pelo apoio técnico; ao Eng. César Jure Yunis, pelo apoio a este trabalho; à Universidade Nacional de Assunção (UNA) e aos institutos de pesquisa: Centro de Investigación Agropecuária del Paraguay (CETAPAR-JICA), Centro de Investigación Agrícola del Paraguay (CIA-MAG) e Cooperativa Agrícola Naranjal (COPRONAR); aos produtores rurais: Dressler e Eugênio Mañiko; à LACTOSU, ao Centro Paraguaia de Laboratórios (RENALAS - Red Nacional de Laboratórios de Análisis de Suelos); e ao laboratório Luiz Finamor.

CONCLUSÕES

1. O teor crítico de P, determinado sob sistema plantio direto para trigo, soja e milho, estimado para

LITERATURA CITADA

AMADO, T. L. G.; MIELNICZUK, L. S.; ALTA, G. P. D.

CALIBRAÇÃO VISANDO À FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS...

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-
NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage
in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping
systems in Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 54:101-109,
2000.
- BOLETIM DE PESQUISA DE SOJA. Fundação Mato Grosso.
9.ed. Central de Texto Rondonópolis, 2005. 230p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFSRS/SC.
Recomendações de adubação e calagem para os Estados
do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed. Passo Fundo,
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional
Sul, Embrapa/CNPT, 1989. 128p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFSRS/SC.
Recomendações de adubação e calagem para os Estados
do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo,
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional
Sul, Embrapa/CNPT, 1995. 224p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE
MINAS GERAIS –CFSEMG. Recomendações para uso
de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª
aproximação. Viçosa, MG, 1999. 360p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO -
CQFSRS/SC. Manual de recomendações de adubação e
calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa
Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- CUBILLA, A.M.M. Calibração visando recomendações de
fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos
sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria,
Universidade Federal de Santa Maria, 2005.160p. (Tese
de Mestrado)
- DERPSCH, R. & BENITES, J. Agricultura conservacionista
no mundo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E
CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa
Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo, 2004. CD ROM.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*,
13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –
EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – região
central do Brasil. Londrina, Embrapa Soja, 2005. 239p.
(Sistema de Produção/Embrapa Soja, 6)
- FAOSTAT data. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>>.
Acessado em 15 fev. 2005.
- FATECHA, A. Guía para la fertilización de cultivos anuales e
perennes de la región oriental del Paraguay. Caacupé,
Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1999. 23p.
- GIANELLO, C. & WIETHÖLTER, S. Novo sistema de
adubação para as culturas de grãos nos Estados do Rio
Lopes, A.S.; Wiethölter, S.; Guilherme
Silva, C.A. Sistema plantio direto: Bases pa
da fertilidade do solo. São Paulo, Associação Na
Difusão de Adubos, 2004. 115p.
- LÓPEZ, O.E.; GONZALEZ, E.; DE LLAMAS, P.A.;
A.S.; FRANCO, E.S.; GARCIA, S. &
Reconocimiento de suelos y capacidad de uso de
Región Oriental. Asunción, MAG /Di
Ordenamiento Ambiental/Banco Mundial, 19
- MANUAL de adubação e calagem para cultivos agri
Grande do Sul e Santa Catarina. Trigo Soja, 50
- MARTINS, J.R. & GONÇALVES, C.N. Estudo da
diferentes profundidades de um solo s
convencional e plantio direto. In CO
BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio
1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Br
Ciência do Solo, 1997. CD ROM.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. & BO
Recomendações de adubo e calcário para as
culturas do Estado do Rio Grande do Sul. P
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
(Boletim Técnico, 2)
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; VOLKWEISS, S.
J.F. & MACHADO, M.O. Estudos iniciais de c
análises para fósforo e potássio do solo com a
trigo. Porto Alegre, Universidade Federal do
do Sul, 1969b. 10p.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto
ao convencional, sobre a fertilidade da camaç
solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo
condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade
Viçosa, 1999. 399p.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ
CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertiliz
no sistema plantio direto. In: ALVAREZ
SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MEL
& COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do s
MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
p.393-486.
- RED NACIONAL DE LABORATORIOS DE AN
SUELO - RENALAS. Primer taller de contro
de los laboratorios de suelos e recomen
fertilización nitrogenada, fosfatada e potássica
maiz e soja en siembra directa en Paraguay.
2005. CD ROM.
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição
inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pe
Bras.*, 36:151-160, 2001.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no pla
Castro, Fundação ABC, 1993. 96p.
- SCHLINDWEIN, J.A. Calibração de métodos de d
e estimativa de doses de fósforo e potássio e
sistema plantio direto. Porto Alegre, Universid
do Rio Grande do Sul., 2003. 169p. (Tese de

SELLES, F.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; ZENTNER, R.P. & FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Soil Till. Res.*, 44:23-34, 1997.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1986.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A. & ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa/CNPT, 1987. 100p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; H. & VOLKWEISS, S.J. *Análises de solo, plan* materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Téc

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE UFRGS. Tabelas de adubação corretiva e a manutenção para os solos e culturas dos Est Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE UFRGS. Tabelas de adubação corretiva e a manutenção para os solos e culturas dos Est Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre