XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo
"Disponibilidade de Fósforo em Latossolo de Cerrado sob Plantio Direto Adubado com Duas Fontes de Fósforo Avaliada por Diferentes Extratores"

DJALMA MARTINHÃO GOMES DE SOUSA[(1)] **& THOMAZ ADOLPHO REIN**[(2)]

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de fósforo do solo com extratores químicos em experimento com soja, onde o fósforo era aplicado como superfosfato triplo e fosfato natural reativo, em Latossolo Vermelho argiloso sob cultivo em plantio direto. O estudo foi realizado na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, em experimento com 7 anos de cultivo de soja e milho, utilizando-se para esse trabalho os dados dos cinco cultivos de soja. Foram coletadas amostras de solo em parcelas que haviam recebido adubação fosfatada corretiva combinada ou não com adubação anual por dois modos de aplicação – a lanço na superfície do solo e no sulco de semeadura – e mediante duas fontes de fósforo: superfosfato triplo e fosfato natural reativo. A amostragem do solo foi realizada anualmente na camada de 0 a 20 cm. Foi determinado o teor de fósforo extraível do solo pelos extratores Mehlich I, Bray 1 e resina. Observou-se que os extratores Mehlich I, Bray 1 e resina apresentam um comportamento satisfatório para avaliar a disponibilidade de P do solo quando a fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo, destacando-se o método da resina. Para o fosfato natural reativo, os extratores Mehlich I e resina superestimaram a disponibilidade de fósforo. O mesmo não ocorreu com o extrator Bray 1, embora sua capacidade preditiva da disponibilidade de fósforo do solo também não tenha sido satisfatória na presença do fosfato natural reativo.

Palavras-Chave: (solos; fosfato natural reativo, superfosfato triplo, Mehlich I, Bray 1, resina, soja).

Introdução

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante para a produção agrícola nos solos do Cerrado, pois sua disponibilidade em condições naturais é muito baixa. A adubação fosfatada é imprescindível para se obter rendimentos satisfatórios das diversas culturas [1]. Devido aos altos custos dos fertilizantes fosfatados solúveis é conveniente identificar fontes alternativas mais baratas e que apresentem boa eficiência agronômica. Produtos que apresentam estas características são os fosfatos naturais reativos (FNR), cuja importação no Brasil na forma não moída teve inicio na década de 1990 [2].

Um aspecto que deve ser considerado quando da utilização dos FNR como fonte de P é a análise do solo. No ano subseqüente a aplicação, ao avaliar-se a disponibilidade pelo extrator Mehlich I, utilizado na maioria dos laboratórios da região, esse superestima a disponibilidade de P para a cultura subseqüente, pois solubiliza parte do FNR ainda não dissolvido no solo. Extratores como o Bray 1 e a resina podem ser uma solução para esse problema [2,3]. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de pesquisa feita na região do Cerrado com a cultura da soja em sistema de plantio direto, avaliando os extratores Mehlich I, Bray 1 e resina quando são utilizadas como fontes de P o superfosfato triplo (ST) e o FNR.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF (latitude 15º36' S e longitude 47º42' W), altitude de 1.014 m, com clima Cwa, precipitação média anual de 1.570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. O relevo caracteriza-se como suave ondulado e a vegetação original é o Cerradão. Trata-se de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso (54 % de argila), com teor de P extraível por Mehlich I muito baixo (1,2 mg dm^{-3} na camada de 0 cm a 20 cm), por ocasião da instalação do experimento, em junho de 1999. O experimento tinha como objetivo principal a avaliação agronômica de três fontes de P aplicadas anualmente na dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triplo granulado - STg, fosfato natural reativo - FNR e mistura na proporção 1:1 de P do superfosfato triplo microgranulado com fosfato natural reativo - STmg + FNR), em dois modos de aplicação (lanço na superfície do solo e sulco de semeadura) e em três condições iniciais de P no solo (condição natural, corrigido com FNR e com STg, na dose de 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 total). O experimento foi cultivado com soja e milho, sendo adotado o sistema plantio direto (SPD). O delineamento experimental foi blocos casualizados em esquema fatorial.

Antes do primeiro cultivo, foram aplicados a lanço e incorporados: calcário dolomítico, potássio, enxofre e micronutrientes, segundo recomendações para região [4]. As sementes de soja foram inoculadas anualmente, juntamente com aplicação de cobalto e molibdênio. Também foram efetuadas adubações anuais de manutenção, a lanço, com 80 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio e 30 kg ha^{-1} de S na forma de gesso. Soja (*Glycine max*) foi cultivada nos três primeiros anos e,

(1) Primeiro Autor é Pesquisador da Embrapa Cerrados. BR 020, km 18 – Planaltina, DF, CEP 73310-970. E-mail: dmgsousa@cpac.embrapa.br.
(2) Segundo Autor é Pesquisador da Embrapa Cerrados.
Apoio financeiro: Convênio EMBRAPA-CPAC / Adubos TREVO S.A.

nos anos seguintes, houve a rotação entre milho (*Zea mays*) e soja, sendo sempre utilizado o milheto (*Pennisetum glaucum)* como cobertura de inverno, semeado no final da estação chuvosa. Os cultivos foram conduzidos sob irrigação por aspersão, realizada por ocasião de veranicos. As dimensões das parcelas experimentais eram de 11 m x 4,5 m (49,5 m^2 de área), com espaçamento entre linhas de 0,45 m para a soja, 0,75 m para o milho e 0,20 m para o milheto.

Para a realização deste trabalho, contemplando apenas os cinco cultivos de soja realizados no período de sete anos, foram selecionados dez tratamentos: fosfato natural reativo (FNR) aplicado no sulco de semeadura e FNR a lanço na superfície, na dose de 80 kg ha^{-1} ano^{-1} de P_2O_5, associados ou não à adubação corretiva com FNR na dose 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 efetuada por ocasião do primeiro cultivo, a lanço e com incorporação; superfosfato triplo granulado (ST) no sulco e ST a lanço, na dose de 80 kg ha^{-1} ano^{-1} de P_2O_5, associados ou não à adubação corretiva com ST na dose 240 kg ha^{-1} de P_2O_5; adubação corretiva com FNR e ST na mesma dose, efetuada apenas no primeiro cultivo, sem adubação fosfatada anual de manutenção.

O teor de P_2O_5 total do FNR farelado, procedente do Marrocos, era de 28,5%, dos quais 38% eram solúveis em ácido cítrico a 2% (relação fertilizante:extrator 1:100). Já o ST continha 43,4% de P_2O_5 total, com 92% solúvel em ácido cítrico a 2%.

Para avaliar o rendimento de grãos de soja anualmente, era feita a colheita de 6 linhas centrais de 7 m de comprimento na parcela (área útil de 18,90 m^2). A umidade dos grãos de cada parcela era medida, os grãos eram pesados e o peso corrigido para a umidade de 13%, expresso em toneladas por hectare.

As amostras de solo foram retiradas com trado calador, após a colheita da soja. Foi amostrada a camada de 0 a 20 cm, em vinte pontos distribuídos aleatoriamente na área útil de cada parcela. Depois de coletadas, as amostras foram secas ao ar, maceradas e passadas em peneira de 2 mm. Foi então realizada a determinação do P extraível pelo extrator Mehlich I, Bray 1 e resina trocadora de íons [5, 6].

As análises estatísticas de regressão foram realizadas utilizando SAS 9.1 [7].

Resultados

Na Tabela 1 são apresentadas as relações entre os teores de P do solo obtidos com os três extratores, separadamente para os tratamentos onde foram aplicados o ST e o FNR. O comportamento dos extratores foi diferenciado em função da fonte de P. Quando a fonte de P foi o ST, os métodos Bray 1 e Mehlich I extraíram quantidades semelhantes de P do solo, enquanto que a resina extraiu aproximadamente duas vezes mais P que esses dois extratores. Os teores de P extraível pelos três métodos foram altamente correlacionados ($r>0,90$). Para o FNR os métodos da resina e Mehlich I extraíram quantidades semelhantes de P do solo, em média aproximadamente cinco vezes mais em relação ao extrator Bray 1. Apenas os extratores Mehlich e resina tiveram os teores de P altamente correlacionados na presença do FNR.

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre P extraível por Mehlich I, Bray 1 e resina e o rendimento de grãos de soja avaliados nos cinco cultivos em um período de sete anos, quando foi utilizado o ST como fonte de P. As relações obtidas pelos três extratores são satisfatórias ($r^2>0,5$), destacando-se a resina ($r^2=0,72$). Na Figura 2 além dos tratamentos com o ST, foram avaliados conjuntamente os tratamentos que receberam o FNR. Nesse caso, as relações não foram satisfatórias para os extratores Mehlich I e resina.

Na Figura 3 são apresentadas as relações entre P extraível e o rendimento de soja quando foi utilizado como fonte de P o FNR. Em geral, os rendimentos foram inferiores aos dos tratamentos que receberam o ST (Figura 1), assim como as relações (r^2) com o P extraível pelo três métodos. Os teores médios de P extraível por Mehlich I e resina para os tratamentos com FNR foram superiores em relação aos tratamentos com ST, o oposto ocorrendo com o extrator Bray 1.

Discussão

Para efetuar uma recomendação criteriosa de adubação fosfatada deve-se conhecer o plano de utilização da propriedade, histórico da área e a análise do solo. A recomendação tem como base a relação existente entre os teores de P extraível no solo e o rendimento das culturas, assim como a relação entre doses de P aplicado e o rendimento em solos com diferentes teores de P [1, 2].

No Brasil, os dois métodos utilizados em rotina para extrair P do solo são o Mehlich I (H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e HCl 0,05 mol L^{-1}) e a resina (mistura de resinas de troca aniônica e catiônica saturadas com bicarbonato de sódio). O princípio de extração do método Mehlich I é dissolução ácida, enquanto que o da resina é de troca de íons. O extrator Mehlich I reconhecidamente superestima o teor de P extraível quando são utilizados como fontes de P os fosfatos naturais brasileiros, de baixa reatividade, enquanto que para o método da resina isso não ocorre [3]. Um procedimento alternativo é o método Bray 1 (HCl 0,025 mol L^{-1} e NH_4F 0,03 mol L^{-1}) para qual não ocorre a superestimativa da disponibilidade de P de solos que receberam fosfatos naturais brasileiros ou fosfatos naturais reativos [1, 8, 9].

Analisando-se os dados da Tabela 1, observa-se que o P extraível pelo extrator Bray 1 foi muito inferior aos valores obtidos pelos extratores Mehlich I e resina quando a fonte de P foi o FNR. Para o extrator Mehlich I isso pode ser explicado pela dissolução parcial de apatita (fosfato de cálcio) não reagida no solo, pela alta concentração de H^+ no meio. Já para o método da resina o P é drenado pela resina aniônica enquanto o Ca é drenado pela resina catiônica. Essa retirada contínua de P e Ca da solução possivelmente provoca a dissolução parcial do FNR ainda não dissolvido no solo, pois esses fosfatos de origem sedimentar marinha são mais solúveis que os fosfatos naturais brasileiros de origem ígnea ou metassedimentar [2]. A trituração do solo e conseqüentemente das partículas mais grosseiras de FNR com bolinha de vidro em

suspensão com água, na etapa que precede a extração com as resinas, possivelmente contribui para a dissolução do fosfato não reagido.

Isso pode ser melhor visualizado na Figura 2, que apresenta as relações entre P extraível pelos três métodos e o rendimento de soja para as duas fontes de P. Os coeficientes de determinação (r^2) das regressões para os métodos Mehlich I e resina foram inferiores em relação aos obtidos para o método Bray 1 muito semelhante, tanto para o ST (Figura 1), quanto para as duas fontes de P, ou seja para o ST e FNR (Figura 2).

Comparando-se as Figuras 1 e 2 observa-se que os modelos ajustados para as relações entre o P extraível por Bray 1 e o rendimento de soja são semelhantes, o que sugeriria ser o extrator de Bray 1 mais adequado para estimar a disponibilidade de P nesse solo, quando da aplicação anual dos fertilizantes fosfatados FNR ou ST. Contudo, os resultados da Figura 3, em que são avaliados apenas os tratamentos com FNR, mostram que a capacidade preditiva do extrator Bray 1 também não é satisfatória (r^2=0,37) para o solo adubado com esse fosfato. Como o aproveitamento pelas culturas do fósforo destes fosfatos naturais reativos é também função da espécie cultivada [10], é pouco provável que um extrator químico possa predizer adequadamente a disponibilidade de P de solos com diferentes históricos de adubação com relação a fontes de fósforo.

A relação existente entre o rendimento da soja adubada anualmente com FNR e a disponibilidade de P avaliada pelos métodos Mehlich I e resina (Figura 3) indica a possibilidade de estimar o nível de P requerido para uma determinada expectativa de rendimento. Assim, para as condições desse experimento com potencial produtivo de aproximadamente 3,5 t/ha de soja, para o rendimento de 2,5 t/ha (aproximadamente 70% do rendimento máximo) os teores de P extraíveis por Mehlich I e resina estão por volta de 11 e 20 mg/dm^3, respectivamente. Quando a fonte de P foi o ST (Figura 1), para o mesmo rendimento (2,5 t/ha de soja) os teores de P extraível por Mehlich I e resina foram aproximadamente 4 e 9 mg/dm^3, respectivamente. Isso evidencia que os teores de P extraíveis de latossolos argilosos por esses métodos quando se utiliza anualmente o FNR como fonte de P seriam aproximadamente 2,5 vezes superiores em relação ao ST.

Conclusões

Os extratores Mehlich I, Bray 1 e resina apresentaram comportamento satisfatório para avaliar a disponibilidade de P do solo para a cultura da soja sob plantio direto quando a fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo, destacando-se a resina.

Os extratores Mehlich I e resina superestimaram a disponibilidade de P do solo quando foi utilizado o fosfato natural reativo, o mesmo não ocorrendo com o extrator Bray 1, embora sua capacidade preditiva da disponibilidade de fósforo também não tenha sido satisfatória na presença dessa fonte de fósforo.

Referências

[1] SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. & REIN, T. A. 2004. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: Correção do solo e Adubação, 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p.147-168.

[2] SOUSA, D. M. G. de & LOBATO, E. 2004. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S. R. S. (Eds.) Fósforo na Agricultura Brasileira, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.157-200.

[3] RAIJ, B. van. 2004. Métodos de Diagnose de Fósforo no Solo em Uso no Brasil. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S. R. e (Eds.). Fósforo na Agricultura Brasileira, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.563-587.

[4] SOUSA, D. M. G. de & LOBATO, E. (Eds.) 2004. Cerrado: correção do solo e adubação, 2. ed., Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 416 p.

[5] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997.. Manual de Métodos de Análise de Solos, 2 ed., Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-CNPS. 212 p.

[6] RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. 2001. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. (Eds.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais, Campinas, SP: Instituto Agronômico, p. 189-199.

[7] SAS INSTITUTE INC. 2003. Versão 9.1. Cary, NC, USA.

[8] SOUSA, D. M. G. de & LOBATO, E. 1988. Adubação fosfatada. In: Simpósio sobre o cerrado; Savanas. Alimento e energia. 6., Brasília, DF, 1982. Planaltina, DF: EMBRAPA – CPAC, p.33-60.

[9] SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A. & LOBATO, E. 1999. Eficiência agronômica do fosfato natural de Gafsa em um latossolo de cerrado com a cultura da soja. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília-DF, Ciência do solo e qualidade de vida: Anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. CD-ROM.

[10] SMALBERGER, S.A.; SINGH, U.; CHIEN, S.H.; HENAO, J. & WILKENS, P.W. 2006. Development and validation of a phosphate rock decision support system. Agronomy Journal, v. 98, p.471-483.

Tabela 1. Equações de regressão linear e coeficientes de correlação para os valores de P extraível obtidos pelos extratores Mehlich I, Bray 1 e Resina, dos tratamentos que receberam adubação fosfatada com superfosfato triplo e fosfato natural reativo.

Método de Extração		EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR	**r** [(1)]
X	Y		
Superfosfato triplo (n=25 pares)			
Mehlich I	Bray	y = 0,78 + 1,05x	0,97***
Bray	Resina	y = -0,14 + 1,87x	0,93***
Mehlich I	Resina	y = 0,38+2,09x	0,96***
Fosfato natural reativo (n=25 pares)			
Mehlich I	Bray	y = 2,31 + 0,094x	0,46*
Bray	Resina	y = 10,33 + 2,78x	0,51**
Mehlich I	Resina	y = 4,67 + 1,06x	0,95***

[1] *, **, *** significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

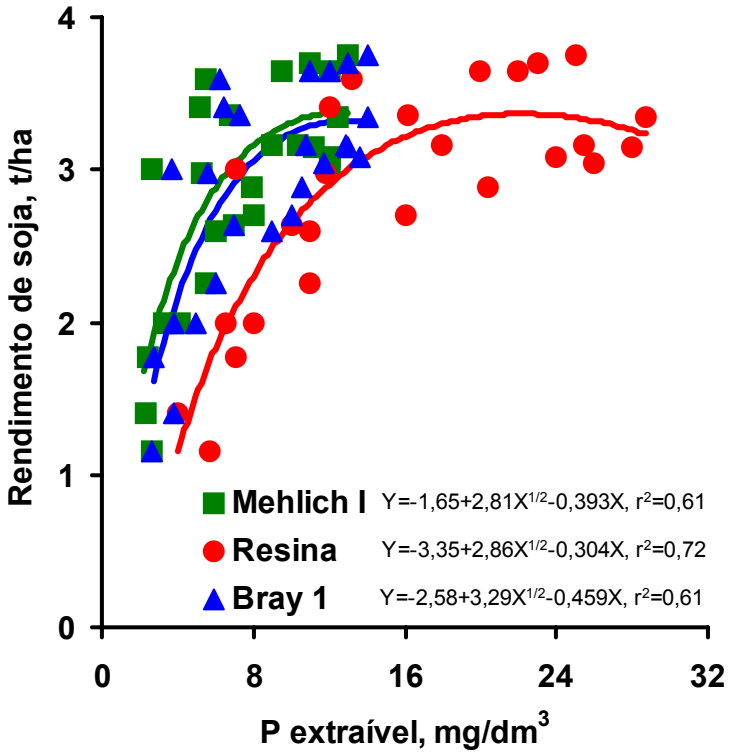

Figura 1. Relações entre o teor de fósforo extraível pelos métodos Mehlich I, resina e Bray 1 e o rendimento de grãos de cinco cultivos de soja realizados em um período de sete anos, para adubações anuais e adubação corretiva com superfosfato triplo em cinco tratamentos, em latossolo argiloso sob plantio direto.

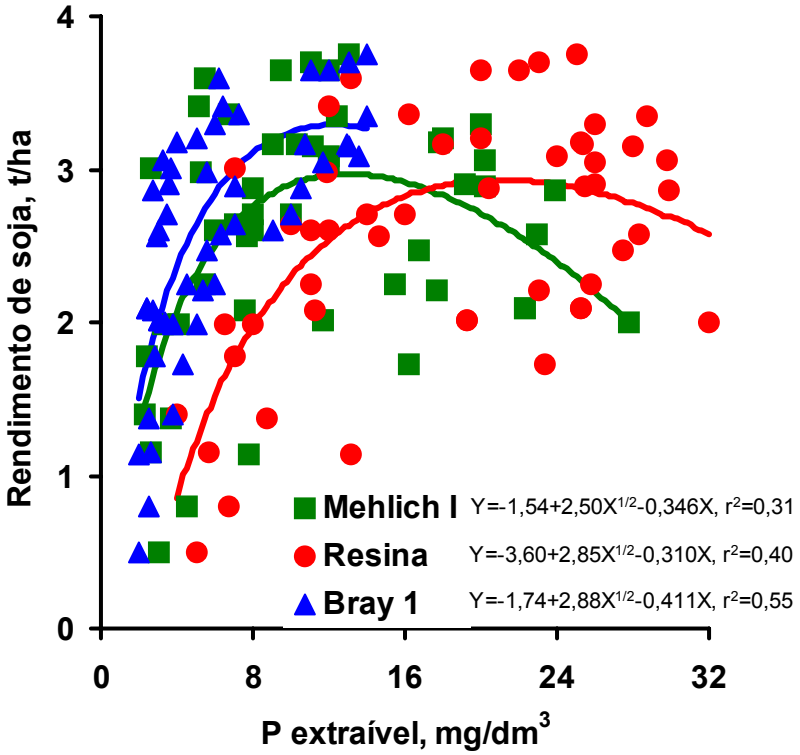

Figura 2. Relações entre o teor de fósforo extraível pelos métodos Mehlich I, resina e Bray 1 e o rendimento de grãos de cinco cultivos de soja realizados em um período de sete anos, para adubações anuais e adubação corretiva com superfosfato triplo (5 tratamentos) e fosfato natural reativo (5 tratamentos), em latossolo argiloso sob plantio direto.

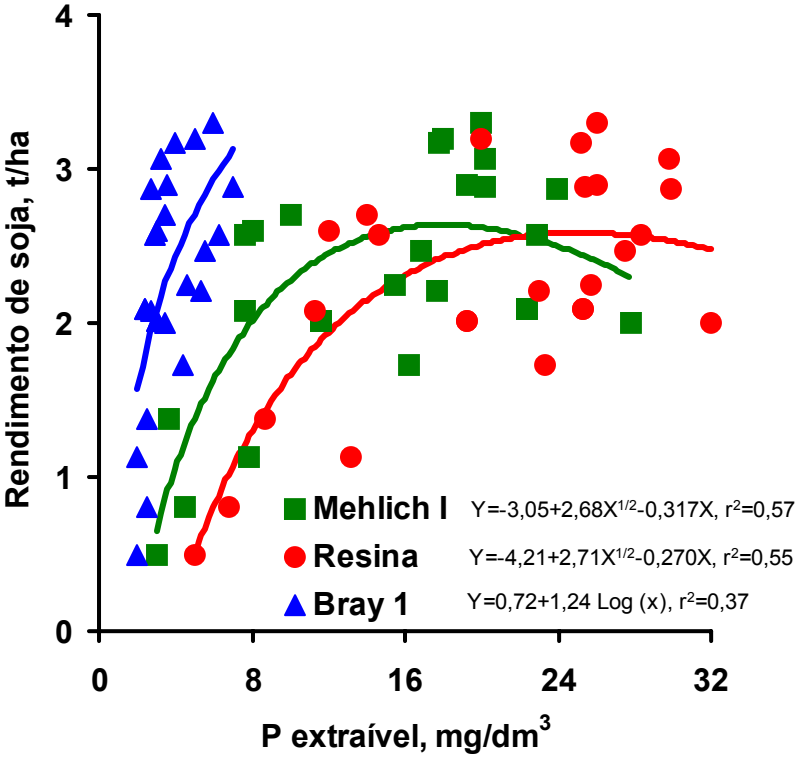

Figura 3. Relações entre o teor de fósforo extraível pelos métodos Mehlich I, resina e Bray 1 e o rendimento de grãos de cinco cultivos de soja realizados em um período de sete anos, para adubações anuais e adubação corretiva com fosfato natural reativo em cinco tratamentos, em latossolo argiloso sob plantio direto.