



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

CORRELAÇÃO ENTRE O FÓSFORO EXTRAÍDO DO SOLO POR DIFERENTES MÉTODOS E O ABSORVIDO PELO FEIJOEIRO

Julian Junio de Jesús Lacerda⁽¹⁾; Antonio Eduardo Furtini Neto⁽²⁾; Álvaro Vilela de Resende⁽³⁾; José Zilton Lopes Santos⁽⁴⁾; César Henrique Caputo de Oliveira⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Estudante de Doutorado; Departamento de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, Lavras-MG, julianlacerda@gmail.com; ⁽²⁾ Professor Adjunto; Departamento de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, Lavras-MG; ⁽³⁾ Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, CEP: 35701-970, Sete Lagoas – MG; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto; Universidade Federal do Amazonas, Campus Reitoria, Manaus-AM, CEP: 69077-000; ⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia; Departamento de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, Lavras-MG.

Resumo – Na avaliação de métodos de extração do fósforo do solo, além dos aspectos químicos contemplados, é de importância decisiva verificar a eficiência do método para avaliar a disponibilidade de P para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de fósforo por diferentes métodos de extração em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) com diferentes históricos de uso adubado com fosfato reativo. Foram adicionadas doses de P equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³ em um LVAd coletado em uma área cultivada por quatro anos em plantio direto contínuo e em uma área adjacente não cultivada anteriormente. Os teores de fósforo extraídos por Mehlich-1, ácido cítrico, Olsen e resina de troca iônica foram determinados por espectrofotometria antes e após o cultivo do feijoeiro. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, sendo posteriormente pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea, trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P. No LVAd com histórico de uso em sistema de plantio direto, os teores de fósforo extraídos pelos métodos Mehlich-1, resina, ácido cítrico e Olsen não se correlacionam com a produção de matéria seca da parte aérea no florescimento e com a matéria seca dos grãos do feijoeiro. No LVAd não cultivado anteriormente, o método de extração de fósforo disponível sugerido por Olsen apresenta os maiores coeficientes de correlação com o fósforo absorvido pelo feijoeiro.

Palavras-Chave: disponibilidade, sistema de plantio direto, análise de cluster.

INTRODUÇÃO

O teor de um nutriente disponível no solo é aquele cujas alterações proporcionam variações no crescimento da planta (Cantarutti et al., 2007). Diversos métodos analíticos são utilizados para a avaliação do fósforo no solo, sendo que cada um apresenta uma capacidade de extração que nem sempre se correlaciona com o P absorvido pelas plantas. Os resultados determinados na análise química podem não

representar os teores disponíveis no solo, mas devem apresentar com eles a melhor correlação possível (Raij, 2010).

No Brasil, o método de extração mais utilizado é o Mehlich-1, mas, em alguns Estados, empregam-se também as resinas de troca iônica. Vários trabalhos relatam correlações significativas entre os dois métodos, como o de Bortolon et al., (2009) que encontraram coeficientes de correlação entre os métodos Mehlich-1 e resina, $r=0,80$ na profundidade de 0-10 cm e $r=0,94$ na profundidade de 10-20 cm em solos sob plantio direto. No entanto, ainda não foi possível estabelecer um índice de equivalência entre os dois métodos de modo que fosse possível a utilização das tabelas de calibração do Mehlich-1 para interpretação dos valores obtidos pela resina ou vice-versa (Schlindwein e Gianello, 2008).

Análises de correlação podem determinar se as variações na produção ou no conteúdo de P são proporcionais aos teores extraídos pelos métodos de análise. Holanda et al. (1995) observaram que os extratores Bray-1 e resina apresentaram maiores coeficientes de correlação com a produção de matéria seca e o P absorvido pelo arroz que o extrator Mehlich-1. No entanto, Santos e Kliemann (2005) encontraram o mesmo coeficiente de correlação para os teores de P extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e resina e a produção de matéria seca da parte aérea do milho ($r=0,95$).

Apesar de vários trabalhos de pesquisa indicarem o método da resina de troca iônica como mais eficiente que os demais na avaliação da disponibilidade de fósforo no solo, não há uma definição clara sobre o melhor método de extração de fósforo, quando se aplica fosfatos de menor solubilidade em áreas cultivadas sob sistemas de plantio direto.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de fósforo por diferentes métodos de extração em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) com diferentes históricos de uso adubado com fosfato reativo.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem e tratamentos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. As amostras de solo foram coletadas na Fazenda Alto Alegre, localizada no município de Planaltina de Goiás - GO, na profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação nativa (solo não cultivado) e sob condição de cultivo em sistema de plantio direto. O solo estava com quatro anos de plantio direto contínuo, pois foi subsolado no ano de 2002, ocasião em que recebeu 2 t ha⁻¹ de calcário. Durante dez anos a área recebeu em média 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

As amostras foram caracterizadas em relação aos seus atributos, conforme método descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1997) e Resende et al., (1987). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVd) com textura argilosa arenosa. O experimento foi realizado em vasos com capacidade para quatro dm³ de solo. Foram aplicadas quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³) no LVAd com histórico de cultivo anterior sob sistema de plantio direto (SC) e no LVAd não cultivado anteriormente (SNC). O fornecimento das doses de P foi realizado com base no teor total de P₂O₅ do fosfato reativo de Arad (30%). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4 x 2), com quatro repetições.

As amostras receberam carbonato de cálcio e carbonato de magnésio p.a., buscando elevar a saturação por bases para 70% e uma adubação de plantio com reagentes p.a. Após 30 dias de incubação com umidade controlada diariamente para 60% do volume total de poros ocupados por água procedeu-se a semeadura de seis sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) por vaso. Aos 12 dias após o plantio foram efetuados desbastes deixando-se três plantas de feijoeiro por vaso. As adubações de cobertura com N e K foram realizadas de acordo com o crescimento das plantas. Durante o cultivo do feijoeiro, a umidade do solo também foi mantida em 60% do volume total de poros pela adição de água deionizada. Após o cultivo do feijoeiro foram obtidas amostras de solo de cada vaso para análise química. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, sendo posteriormente pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea, trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997).

Nas amostras de solo foram realizadas análises dos teores de fósforo pelos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) (Mehlich, 1953), resina trocadora de íons (Raij et al., 1987), ácido cítrico (C₆H₈O₇ · H₂O 2% p/p) (modificado de Dyer, 1894) e Olsen (NaHCO₃ 0,5 M) (Olsen et al., 1954). A determinação dos teores de fósforo nos extratos foi realizada por espectrofotometria, conforme Murphy e Riley (1962).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância, correlação de Pearson e análise de

agrupamento hierárquica (AAH). Para interpretação dos dados, utilizando AAH, foram geradas duas matrizes de dados (16x7), uma para o solo não cultivado e outra para o solo com histórico de cultivo em plantio direto. As linhas da matriz de dados corresponderam às amostras de solos e/ou plantas (casos) e as colunas corresponderam às variáveis (P disponível pelos extratores de Mehlich-1, resina de troca iônica, ácido cítrico 2% e Olsen, matéria seca da parte aérea da planta no florescimento, conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento e matéria seca dos grãos). Como as variáveis utilizadas não possuem a mesma escala, foi necessário escalonar os dados através do método Z-Score.

Na AAH foi utilizada a técnica de análise de cluster que se baseia na partição de uma população heterogênea em vários grupos homogêneos. No agrupamento não há classes pré-definidas, os elementos são agrupados de acordo com a semelhança. A medida de similaridade usada foi a distância Euclidiana quadrática e método hierárquico aglomerativo usado foi o método de ligação de Ward.

Todas as operações matemáticas e estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas Sisvar (Ferreira, 2000) e SPSS 15.0 (*Statistical Package for Social Sciences*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre o histórico de uso e as doses de P aplicadas sobre os teores de P disponível pelos extratores, Mehlich-1, resina de troca iônica e ácido cítrico 2%, conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento e matéria seca dos grãos. Observa-se que o solo cultivado por quatro anos em plantio direto contínuo apresentou maiores teores de P disponível pelos diferentes extratores que o solo não cultivado anteriormente (Tabela 1). Essa maior disponibilização de P no solo cultivado anteriormente pode ser devido à adsorção específica dos grupos fosfatos, provenientes das primeiras adubações, com as cargas positivas dos óxidos de Al e Fe, o que pode ter reduzido a quantidade de cargas positivas (Alleoni et al., 2009) e a adsorção do fósforo aplicado posteriormente.

A capacidade de recuperação do fósforo aplicado nos solos foi bem diferenciada entre os extratores usados. Para o solo não cultivado anteriormente os valores seguiram a ordem: ácido cítrico > Mehlich-1 > resina > Olsen, enquanto no solo com histórico de uso em plantio direto a ordem foi Mehlich-1 > ácido cítrico > resina > Olsen (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com a hipótese de que em solos tratados com fosfatos de menor solubilidade os extratores ácidos podem superestimar os teores disponíveis no solo.

Os métodos de determinação do P disponível apresentaram estreitas correlações entre si e com as doses de P aplicadas, sendo os pares Mehlich-1 x resina (r_s ≥ 0,96), Mehlich-1 x ácido cítrico (r = 0,99), resina x ácido cítrico (r_s ≥ 0,96), o que indica que os métodos foram sensíveis às diferentes quantidades do fertilizante aplicadas ao solo (Tabela 2).

No solo não cultivado anteriormente os quatro métodos de extração de P estudados apresentaram altos coeficientes de correlação com a matéria seca da parte aérea, matéria seca dos grãos e fósforo acumulado até o florescimento, sendo que os maiores coeficientes de correlação foram

observados para o extrator Olsen. Outros autores também encontraram correlações positivas e significativas entre os métodos Mehlich-1 e resina e a produção de matéria seca das plantas. Santos e Kliemann (2005) encontraram correlações significativas entre o P extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e resina e a produção de matéria seca do milheto, em solos adubados com superfosfato triplo e fosfatos de Arad, Araxá e Phospal.

No entanto, no solo com histórico de uso em plantio direto contínuo por quatro anos, a matéria seca da parte aérea e a matéria seca dos grãos não se correlacionaram com teores de P extraídos pelos quatro métodos, o que mostra que não houve resposta do feijoeiro à aplicação do fosfato natural reativo no solo, provavelmente em função dos altos teores de P disponível antes da aplicação dos tratamentos. O sugere a possibilidade de diminuição das doses de P aplicadas em áreas cultivadas em sistema de plantio direto, que receberam adubações fosfatadas por muitos anos. Também é possível verificar que houve correlação significativa com o conteúdo de fósforo na parte aérea, o que indica um consumo de luxo pela planta do feijoeiro, sem resposta na produção de matéria seca ou de grãos. O extrator que apresentou o maior coeficiente de correlação com o absorvido pelo feijoeiro no solo com histórico de uso em plantio direto foi o Mehlich-1 (Tabela 2).

Tabela 1. Teores de fósforo disponível pelos métodos Mehlich-1, resina de troca iônica, Olsen e ácido cítrico, matéria seca da parte aérea (MSPA), conteúdo de fósforo na parte aérea (CPPA) e matéria seca dos grãos do feijoeiro, no solo não cultivado (NC) e cultivado (C) em função de doses de P aplicadas no solo.

Variáveis	Uso	Doses de P (mg dm ⁻³)			
		0	120	240	480
P-Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	NC	1,60	43,40	100,67	214,00
	C	22,48	74,73	120,43	256,90
P-Resina (mg dm ⁻³)	NC	3,60	32,61	44,17	87,75
	C	26,65	60,53	79,40	132,23
P-Olsen (mg dm ⁻³)	NC	5,58	8,36	12,11	17,56
	C	23,84	27,00	30,36	34,01
P-Ac. cítrico (mg dm ⁻³)	NC	6,71	50,23	115,62	248,66
	C	15,16	70,26	127,74	236,19
MSPA (g kg ⁻¹)	NC	0,97	1,26	1,72	2,16
	C	4,57	4,13	4,66	4,73
CPPA (g kg ⁻¹)	NC	1,28	2,22	3,26	3,67
	C	10,95	10,39	12,70	31,63
MSG (g kg ⁻¹)	NC	0,43	3,11	4,02	4,68
	C	10,67	10,23	8,96	11,37

A análise de cluster foi utilizada para explorar a similaridade entre as variáveis, definindo-as em grupos, considerando simultaneamente todas as amostras. De acordo o grau de semelhança entre os pares das variáveis, as mesmas foram arranjadas de acordo com respectivos graus de similaridade de modo que ficaram agrupadas segundo uma disposição hierárquica. Os resultados foram organizados em gráfico do tipo

dendrograma mostrando as relações entre as variáveis agrupadas (Figura 1).

No solo não cultivado anteriormente, pode-se observar a formação de três grupos de variáveis. O grupo I é formado pelas variáveis de produção e absorção de fósforo pelo feijoeiro, o grupo II pelos métodos resina e Olsen e o grupo III pelos métodos de ação ácida (Mehlich-1 e ácido cítrico). Nota-se que o método da resina e Olsen foram os mais similares entre si e apresentam menor distância das variáveis de produção e absorção do fósforo pelo feijoeiro do que os métodos Mehlich-1 e ácido cítrico. No solo com histórico de uso sob plantio direto observa-se uma maior similaridade entre os quatro métodos de extração de P, sendo que a variável, matéria seca de grãos, ficou situada o mais longe possível do grupo dos extratores, o que mostra que nenhum dos métodos de extração foi capaz de se relacionar com a produção do feijoeiro e confirma os resultados da correlação de Pearson (Tabela 2).

CONCLUSÕES

1. No LVAd adubado com fosfato reativo não cultivado anteriormente, o método de extração de fósforo disponível sugerido por Olsen apresenta os maiores coeficientes de correlação com o fósforo absorvido pelo feijoeiro.

2. No LVAd com histórico de uso em sistema de plantio direto, os métodos de extração de P disponível no solo (Mehlich-1, resina, ácido cítrico e Olsen) não se correlacionam com a produção de matéria seca da parte aérea e com a matéria seca dos grãos do feijoeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPEMIG pela concessão de bolsas e apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R.; MELLO, J. W. V. de & ROCHA, W. S. D. da. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 152-249.
- BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. Ciênc. Rural, 39: 2400-2407, 2009.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. de; PRIETO, H.E. & NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 769-850.
- HOLANDA, J. S.; BRASIL, E.C.; SALVIANO, A.A.C.; CARVALHO, M.C.S.; RODRIGUES, M.R.L. & MALAVOLTA, E. Eficiência de extratores de fósforo para um solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. Sci. Agric., 52: 561-568, 1995.
- RAIJ, B. Fertilidade do solo no Brasil: contribuições do Instituto Agronômico de Campinas. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 132, p. 1-13, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.ipni.net>> Acesso em: 10 jan. 2011.
- SANTOS, E. de A. & KLIEMANN, J. H. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. Pesq. Agropec. Trop., 35:139-146, 2005.
- SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Nível De Suficiência E Índice De Equivalência Entre O Fósforo Determinado Pelos Métodos Da Resina De Troca Iônica E Mehlich-1. R. Bras. Agrociência, 14:299-306, 2008.

Tabela 1. Matriz de correlações de Pearson entre os teores de fósforo extraídos do solo por diferentes métodos e a matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA), conteúdo de P na parte aérea no florescimento (CPPA) e matéria seca dos grãos do feijoeiro.

	P.Mehlich	P.Resina	P.Ac.Cítrico	P.Olsen	MSPA	CPPA	MSG	Doses P
LVAd não cultivado anteriormente								
P.Mehlich	1							
P.Resina	0,96**	1						
P.Ac.Cítrico	0,99**	0,96**	1					
P.Olsen	0,99**	0,96**	0,99**	1				
MSPA	0,77**	0,75**	0,74**	0,81**	1			
CPPA	0,77**	0,76**	0,75**	0,82**	0,96**	1		
MSG	0,75**	0,74**	0,72**	0,76**	0,71**	0,80**	1	
Doses P	0,99**	0,97**	0,99**	0,99**	0,79**	0,80**	0,79**	1
LVAd com histórico de cultivo sob plantio direto								
P.Mehlich	1							
P.Resina	0,99**	1						
P.Ac.Cítrico	0,99**	0,99**	1					
P.Olsen	0,93**	0,93**	0,95**	1				
MSPA	0,31	0,24	0,28	0,35	1			
CPPA	0,92**	0,86**	0,87**	0,80**	0,47	1		
MSG	0,16	0,168	0,10	-0,10	-0,18	0,21	1	
Doses P	0,99**	0,99**	0,99**	0,95**	0,31	0,88**	0,11	1

** Correlação significativa ao nível de 0,01

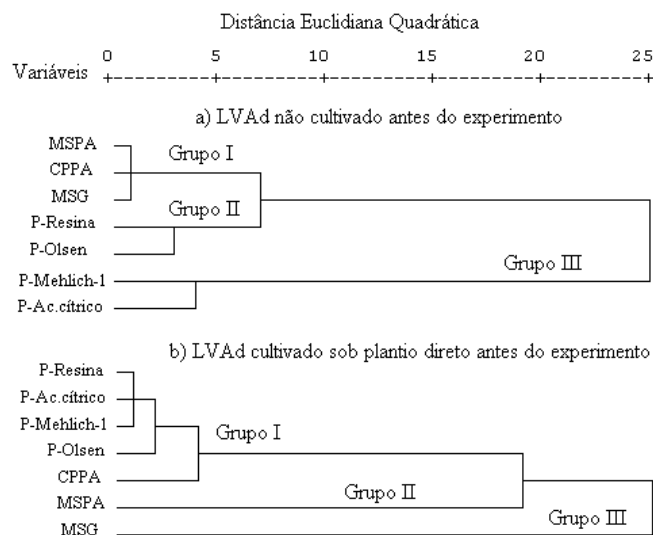


Figura 1: Análise hierárquica de cluster entre os teores de fósforo extraídos do solo por diferentes métodos e a matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA), conteúdo de P na parte aérea no florescimento (CPPA) e matéria seca dos grãos do feijoeiro no LVAd não cultivado anteriormente (a) e cultivado no sistema de plantio direto por quatro anos.