

COMPARAÇÃO ENTRE TEORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL E MÉTODOS DE EXTRAÇÃO EM SOLOS DO PARANÁ

Alfredo Richart¹; Maria do Carmo Lana², Jeferson Klein³ e Daniel Schwantes⁴

¹ Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, Escola de Ciências Agrárias e Medicina Veterinária, Campus Toledo. Avenida da União, 500, CEP: 85902-532. Jardim Coopagro, Toledo, PR. E-mail: alfredo.richart@pucpr.br.

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Centro de Ciências Agrárias, Campus de Marechal Cândido Rondon. Rua PERNANBUCO, 1777, CEP: 85960-000, Centro, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: lana@unioeste.br.

³ Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, Escola Politécnica, Campus Toledo. Avenida da União, 500, CEP: 85902-532. Jardim Coopagro, Toledo, PR. E-mail: jeferson.klein@pucpr.br.

⁴ Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, Escola Politécnica, Campus Toledo. Avenida da União, 500, CEP: 85902-532. Jardim Coopagro, Toledo, PR. E-mail: daniel.schwantes@pucpr.br.

RESUMO: O objetivo deste estudo foi quantificar o fósforo disponível (P_{disp}) pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen de cinco amostras de solos cultivados do estado do Paraná. Conduziu-se um experimento no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), campus de Marechal Cândido Rondon, PR. Foram coletadas amostras de cinco solos do Paraná, na camada superficial, os quais foram secadas ao ar, destorroadas, peneiradas (4,0 mm), homogeneizadas. A partir disto, foram quantificados os teores P_{disp} para cada amostra de solo utilizando os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen. Determinou-se a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e a energia de adsorção de fósforo inseridos na isoterma de Langmuir linearizada. Os resultados obtidos indicam que o extrator Olsen extraiu mais P do que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1. Observou-se uma semelhança entre os extratores Mehlich-3 e Bray-1 para as diversas classes de solos estudadas, com exceção do Lve. Os solos argilosos apresentaram maior CMAP em relação aos solos arenosos. Os valores da energia de adsorção calculada seguem uma ordem inversa da CMAP, ocorrendo apenas uma inversão entre o Lve e o Nve, ou seja, $Pad > PVd > LVd > Lve > Nve$.

PALAVRAS-CHAVE: Disponibilidade de nutrientes, solução extratora, solos cultivados.

COMPARISON BETWEEN LEVELS OF MATCH TAKEN BY FOUR METHODS OF SOILS PARANÁ

Abstract: The objective of this study was to quantify the available phosphorus (P_{disp}) by Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 and Olsen five samples of cultivated soils of the state of Paraná. An experiment was conducted at the Laboratory of Soil Fertility of State University of Western Paraná (Unioeste), campus of Marechal Cândido Rondon, PR. Samples of five soils of Paraná, in the surface layer, which were air dried, destorroadas, sieved (4.0mm), homogenised were collected. From this, P_{disp} levels were quantified for each soil sample using the Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 and Olsen extractors. Determined the maximum adsorption capacity of P (CMAP) and energy of adsorption of phosphorus entered the linearized Langmuir isotherm. The results indicate that the extractor Olsen extracted more P than Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1 extractors. There was a similarity between the Mehlich-3 and Bray-1 extractors for various classes of soils studied, with the exception of Lve. Clay soils showed higher CMAP compared to sandy soils. The energy values was calculated adsorption follow a reverse order of CMAP, a reversal occurring only between Lve and Nve, in other, $Pad > PVd > LVd > Lve > Nve$.

Key-Words: Nutrient Availability; Solution Extractors; Cultivated Soils.

INTRODUÇÃO

No Brasil, os sistemas em uso de recomendação de corretivos e fertilizantes estão fundamentados na utilização das classes de disponibilidade de nutrientes apresentados à partir dos resultados da análise química de solo. As recomendações de quantidades destes insumos à ser aplicado ao solo dependem, em grande parte, da qualidade da diagnose e do grau de deficiência de determinado elemento no solo proporcionada pelo método de análise.

No caso do fósforo (P), a situação é bastante complexa, pela grande variedade de métodos de extração do elemento em uso, o que, de certa forma, é um indicativo da complexidade do comportamento deste elemento P no solo, bem como da falta de concordância sobre qual o método mais adequado. Neste sentido, inúmeras soluções extratoras vem sendo utilizados buscando quantificar as formas capazes de repor o P para solução do solo e predizer sua possível absorção pelas plantas (Silveira et al., 2006).

Os modelos de disponibilização do P consideram dois compartimentos interligados, sendo o primeiro deles a solução do solo, que constitui o fator intensidade (I), e a fase sólida, que armazena os fosfatos que abastecem a solução, lábeis ou moderadamente lábeis, denominado fator quantidade (Q) (Oliveira et al., 2000; Simões Neto et al., 2009). A cinética de como o primeiro compartimento é abastecido pelo segundo é chamado de fator capacidade (FCP), representando o poder tampão, ou a taxa de recomposição do I pelo Q, a qual é controlada pela energia de ligação do nutriente pelo Q e pela difusividade para I, ou pelo grau de labilidade do P (Freitas et al., 2013). Neste caso, quanto maior o valor de Q, menor a energia de ligação aos colóides, pois os sítios de maior avidéz já estão saturados. Por isso, os métodos de avaliação da fertilidade do solo procuram estimar a porção de Q passível de repor I, para predizer a necessidade de suplementação do nutriente. Assim, a eficiência dos extratores de P dependem da forma físico-química em que o nutriente está inserido em Q e do acesso do extrator a esta forma. Neste caso, admite-se que o P estimado pelo método compõe a fração lábil (Santos et al., 2008).

Os extratores utilizados para predição do P disponível, normalmente são constituídos por soluções de reagentes químicos. Silva e Raij (1999) classificaram as soluções empregadas na determinação do P disponível em quatro grandes grupos, conforme seus modos de ação, sendo eles: a) dissolução ácida; b) troca iônica; c) complexação de cátions e d) hidrólise de cátions. De acordo com Júnior et al. (2012) e Gonçalves Jr. et al. (2014) os extratores que agem por dissolução ácida, são empregados ácidos fortes diluídos ou ácidos fracos,

promovendo a dissolução parcial dos colóides inorgânicos, sendo extraídas as formas de P ligadas a cálcio (P-Ca), a alumínio (P-Al) e a ferro (P-Fe). Os extratores do segundo grupo agem por troca iônica e atuam na substituição do P dos sítios de adsorção dos colóides pelos ânions da solução extratora, sendo normalmente utilizados para isto acetato, bicarbonato, citrato, lactato ou sulfato. Nos extratores deste grupo não ocorre extração preferencial de P de acordo com os tipos de colóides, pois, como é baseado na troca iônica, o princípio mais importante é a energia de ligação com o colóide, e não a capacidade de dissolução do extrator (Silva e Raij 1999). Enquanto que no terceiro grupo de extratores, Silva e Raij (1999) e Dos Santos et al. (2008) relatam que estes agem por complexação de cátions, atuando na complexação do metal do grupo funcional dos colóides. Assim, quando a solução extratora contém fluoreto ou alguns ânions orgânicos (citrato e lactato), estes complexam Al, sendo extraídas formas de P-Al. Similarmente, o bicarbonato complexa o Ca (sendo precipitado CaCO_3), liberando P de compostos P-Ca. No quarto grupo de soluções extratoras que promovem a hidrólise de cátions, a forma de liberação de P dos compostos ocorre em pH alto devido à adição de ânions hidroxila. Estes ânions dissolvem compostos P-Al e P-Fe pela hidrólise dos cátions Fe e Al na superfície dos colóides (Silva e Raij 1999; Fixen e Grove, 1990).

Dentre os extratores de P existentes, os laboratórios de análise de solo do Brasil utilizam com mais frequência os de Mehlich 1 e Resina de Troca de Aniônica (RTA). O primeiro é o método oficial utilizado na maioria dos Laboratórios de Análise de Solos que atuam no estado do Paraná (Iapar, 1992). O segundo método é o método oficial no Estado de São Paulo (Raij et al., 2001). A utilização de extrator ácido apresenta a vantagem de possibilitar extratos límpidos e facilidade de execução de análise. Apesar dessa simplicidade e rapidez, os extratores ácidos apresentam baixa capacidade de extração de P em Latossolos com textura argilosa e com teores elevados de óxidos de Fe e Al, ou seja, em solos com alta capacidade de adsorção de P e, conseqüentemente, maior FCP (Silveira, 2000).

Neste contexto, para que um extrator possa ser recomendado em determinada região é necessário que as quantidades de P extraídas do solo estejam relacionadas com a absorção desse nutriente pelas plantas (Alvares V. et al, 2000). Accioly et al. (1995) avaliando a disponibilidade de P pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA em quatro solos de várzea, observaram que no Neossolo Flúvico, o Mehlich-1 apresentou maior coeficiente de correlação com a produção de matéria seca da parte aérea do milho, enquanto que no Glei Húmico, o Mehlich-3 foi o que apresentou maior coeficiente de correlação. Rossi (1997) verificou a superioridade da RTA em extrair P sobre os métodos Mehlich-1, Mehlich-2 e Mehlich-3,

trabalhando com amostras de três solos Latossolo Vermelho coletado nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo em função da adubação com fosfato parcialmente acidulado, a solução extratora de Mehlich-1 pelo seu caráter ácido, solubilizou fosfato de Ca, fornecendo valores elevados de P extraído, superestimando a disponibilidade de P às plantas.

Considerando-se somente os métodos fundamentados por Mehlich, observa-se que nos solos que receberam fosfatos prontamente solúveis (superfosfato simples), ocorreu tendência do extrator Mehlich-3 ser superior ao Mehlich-2 e este ao Mehlich-1. Este aumento está relacionado com os constituintes químicos dos extratores, sendo que o Mehlich-3 possui EDTA que aumenta seu poder complexante, tendendo a extrair mais P ligado ao Fe e Al, comumente encontrados nos solos tropicais brasileiros (Silva e Raij, 1999). Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo quantificar o P disponível pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen de cinco amostras de solos cultivados do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), campus de Marechal Cândido Rondon, PR, localizado nas coordenadas geográficas 24° 33' 40" S e 54° 04' 00" W, apresentando altitude média de 450 metros. Conforme classificação de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com precipitações médias anuais de 1800 mm, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses do verão, porém, sem estação seca definida (Caviglione, 2000).

Dos cinco solos selecionados para o estudo, foram coletadas amostras no horizonte superficial, na profundidade 0 – 20cm de um Latossolo Vermelho Eutroférico (LVe), coletado no município de Palotina, Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVe) em Marechal Cândido Rondon e do município de Umuarama, amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico (LVd), Argissolo Vermelho Distroférico (PVd) e Argissolo Amarelo Distroférico (PAd) (Embrapa, 2006; Bhering e Santos, 2008).

Após a coleta, as amostras foram secadas ao ar, destorroada, peneirada (4,0 mm), homogeneizada. A partir disto, foram quantificados os teores P disponível para cada amostra de solo pelos extratores Mehlich- 1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), Mehlich-3 ($\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1} + \text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 0,25 \text{ mol L}^{-1} + \text{HNO}_3 \text{ } 0,013 \text{ mol L}^{-1} + \text{EDTA } 0,001 \text{ mol L}^{-1}$), Bray-1 ($\text{HCl } 0,025 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{F } 0,03 \text{ mol L}^{-1}$) e Olsen (NaHCO_3

0,5 mol L⁻¹ a pH 8,5), numa relação solo:extrator de 1:10. Nos extratos, o teor de P foi quantificado pelo método proposto por Miyazawa et al. (1992).

O P remanescente foi determinado na solução de equilíbrio, em amostras duplicatas, após agitação de uma amostra de 5,0 g de terra fina seca ao ar, pelo período de 1 h, com solução de 50 mL de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, que continha 60 mg L⁻¹ de P, na proporção 1:10 (Alvarez V. et al. 2000). Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), amostras de cada solo receberam 11 doses de P. Tomou-se uma amostra de 2,5 cm³ de terra fina seca ao ar de cada solo em frascos de extração com tampa, acrescentaram-se 25 mL de uma solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, que continha as diferentes doses de P, agitou-se a solução por 24 horas e centrifugou-se por 5 min, determinando-se a concentração de P no sobrenadante conforme proposto por Alvarez V. et al. (2000). Em seguida, os teores de P no sobrenadante foram inseridos na isoterma de Langmuir linearizada [$C/q = 1/ab + (1/b) C$], para estimar a CMAP (b) em mg kg⁻¹ de P e a constante (a) relacionada com a energia de adsorção de P, expressa em L mg⁻¹, de acordo com Fonseca et al. (1988).

Os dados obtidos para os teores de P disponível pelos diferentes extratores foram submetidos a análise de variância e quando significativos, foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Além disso, foram correlacionados entre si os teores de P extratidos com os diferentes extratores estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de P_{disp} nas amostras de solos revelaram variações quanto aos teores de P extraídos entre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen. Observa-se que o extrator Olsen foi o que extraiu maior quantidade de P_{disp} em comparação com os demais extratores. Possivelmente, estes resultados podem ser atribuídos a maior liberação do P pela substituição do P dos sítios de adsorção dos colóides pelos ânions da solução extratora em condições de pH elevado, pois este extrator consiste numa solução alcalina (NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹), desenvolvida para solos calcários por Olsen et al. (1954). Aliado a isto, a presença do íon HCO₃⁻ atuar substituindo o P adsorvido no solo e reduzindo desta forma a atividade do íon Ca²⁺ em solução como relatado por Silva e Rajj (1999). Por outro lado, apesar desta maior capacidade de extração de P verificada para o extrator Olsen frente aos demais extratores, ele não apresentou diferenças significativas (p>0,05) entre as classes de solos estudadas (Tabela 1). Além disso, observa-se que o extrator Olsen não detectou as variações do fator Q dos diferentes solos avaliados.

Tabela 1. Resultados médios de P disponível extraído pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen para cinco solos do estado do Paraná

Extratores	Solos				
	LVe	NVe	LVd	PVd	PAd
	mg dm ⁻³				
Mehlich-1	30,27 aA	19,49 bB	6,26 dB	15,16 bcB	13,24 cB
Mehlich-3	17,87 aA	14,81 bcB	12,93 cB	17,18 abB	18,22 aB
Bray-1	29,02 aA	15,94 bB	10,94 cB	15,22 bcB	19,23 bB
Olsen	25,09 aA	21,95 aA	30,60 aA	25,12 aA	30,40 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao compararmos os resultados obtidos na Tabela 1, observa-se que para o LVe os métodos extratores são semelhantes ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Entretanto, quanto observamos os teores de Pdisp nos demais solos estudados (NVe, LVd, PVd e PAd) o extrator Olsen apresenta valores médios dos teores de Pdisp superiores aos demais extratores.

Com relação aos extratores ácidos Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, os resultados encontrados sugerem que ocorreu um maior efeito tamponante do pH do solo NVe, associado ao teor de argila, subestimando os valores de Pdisp. Estas diferenças entre os extratores e as classes de solos podem ser atribuídas às diferentes características químicas dos solos e a composição mineralógica que influenciaram a CMAP (Tabela 3). Resultados obtidos por Almeida et al. (2003), estudando a cor do solo, formas de P e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto no Sul do Brasil, verificaram menor capacidade de adsorção de P desses solos em razão da predominância da hematita em sua composição mineralógica. Ainda, Silveira (2000) verificaram que, apesar da simplicidade e rapidez, os extratores ácidos apresentam baixa capacidade de extração de P em Latossolo com textura argilosa e com teores elevados de óxidos de ferro e alumínio. Por outro lado, observa-se uma semelhança nos resultados entre os extratores Mehlich-3 e Bray-1 para todas as classes estudadas, exceto para o LVe (Tabela 1). Esta semelhança deve-se ao fato de ambos extraírem P ligado a Al³⁺ e Fe²⁺, pois, estes são solos altamente intemperizados.

Para os resultados de correlação entre os extratores (Tabela 2), observa-se que o extrator Mehlich-1 correlacionou-se significativamente com o extrator Mehlich-3 a nível de 5%. A correlação entre os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 com o extrator Bray-1 foram

significativos a 1%. O extrator Olsen não se correlacionou significativamente ($p > 0,05$) com os demais extratores. Contudo sugere-se que, os extratores ácidos apresentaram melhores correlações em função das suas características de extrair mais P ligado a Ca, do que P-Al e P-Fe.

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear entre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen para cinco amostras de solos do estado do Paraná.

Extratores	Extratores		
	Mehlich-3	Bray-1	Olsen
Mehlich-1	0,50*	0,88**	-0,35 ^{NS}
Mehlich-3	-	0,69**	0,10 ^{NS}
Bray-1	-	-	-0,11 ^{NS}

*,** Significativo a 5 e 1% de probabilidade.

Os resultados da capacidade máxima de adsorção de Fosfato (CMAP) e a energia de adsorção das cinco classes de solos são apresentados na Tabela 3. A sequência das CMAP obtida foi na seguinte ordem: LVe > NVe > LVd > PVd > PAd, valores maiores da CMAP foram encontrados para os solos LVe e NVe, correspondendo a 33,00 e 28,74 mg dm⁻³ de solo, respectivamente, isto sugere uma relação direta com a quantidade e tipo de argila. Os valores da energia de adsorção calculada seguem uma ordem inversa da CMAP, ocorrendo apenas uma inversão entre o LVe e o NVe, ou seja, PAd > PVd > LVd > LVe > NVe. Os solos com menores teores de argila apresentam maior energia de adsorção de P, contudo os solos LVd, PVd e PAd chegam a ser, aproximadamente, 2 a 4 vezes superior ao solo LVe, com exceção ao solo NVe, na qual sua energia de adsorção é de menor valor 0,016 (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados da CMAP (mg cm⁻³) e energia de adsorção (mg L⁻¹) de cinco classes de solo do estado do Paraná

Solos	CMAP (mg cm ⁻³)	Energia de adsorção (mg L ⁻¹)
LVe	33,00	0,102
NVe	28,74	0,016
LVd	4,96	0,233
PVd	3,58	0,266
PAd	3,23	0,453

Como os solos estudados são bastante intemperizados, pode-se sugerir que as formas

de ferro presentes nos solos LVe e NVe, sejam, preferencialmente, ferro hematítico, isto pode ser justificado pela menor energia de adsorção de P nestes solos, facilitando de certa forma a dessorção do P. Por outro lado, nos solos LVd, PVd e PAd, a forma preferencial pode ser a do ferro goetítico, devido a maior energia de adsorção de P. Estes resultados sugerem que a disponibilidade de P para as plantas poderá ser maior nos solos LVe e NVe em função do P ficar mais fracamente retido na fase sólida do solo.

CONCLUSÕES

1. O extrator Olsen extraiu mais P do que os extratores Mehlich-1, Mehlich3 e Bray- 1 e não apresentou diferenças significativas entre as classes de solos estudadas.
2. Observou-se uma semelhança entre os extratores Mehlich-3 e Bray-1 para as diversas classes de solos estudadas, com exceção do LVe.
3. A sequência das CMAP obtida foi na seguinte ordem: LVe > NVe > LVd > PVd > PAd, onde pode-se observar maior CMAP nos solos mais argilosos em relação aos solos arenosos.
4. Os valores da energia de adsorção calculada seguem uma ordem inversa da CMAP, ocorrendo apenas uma inversão entre o LVe e o NVe, ou seja, PAd > PVd > LVd > LVe > NVe.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A.M.A.; FERNANDES, L.A.; GUEDES, G.A.A.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, C.A.B. Avaliação do fósforo disponível em solos de várzea pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 986-988p.
- ALVAREZ, V.H.; FONSECA, D.M. Determinação de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.1, p.49-55, 1990.
- ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.27-33, 2000 (Boletim Informativo).
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais.III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. **Experientiae**, Viçosa, v.20, n.1, p.217-234, 1975.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C. TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983, 48p. (Boletim técnico n. 78).

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agronômico do Paraná, 2009. 74p.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.1, p.73-85, 1974.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, n.2, p.227-234, 1995.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1).

FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. **Fitotecnia Latinoamericana**, San José, v.3, p.203-216, 1966.

FIXEN, P.E.; GROVE, J.H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.; L. (Ed) **Soil Testing and Plant Analysis**. 3rd Edition. Madison, Wisconsin: Soil Science Society America, 1990, p.141-180.

GONÇALVES Jr., A.C.; SCHWANTES, D.; NACKE, H.; STREY, L.; COELHO, G.F.; CASARIN, J. Methods of extraction and bioavailability of zinc for the soybean culture fertilized with NPK+Zn. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.10, p.900-904, 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992, 37p. (Circular n. 76).

JÚNIOR, R.F.S.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, H.C.; FREIRE, F.J.; ARRUDA, J.A. Extrações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p.159-169, 2012.

KAMINSKI, J., PERUZZO, G., **Eficácia de fosfatos naturais em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997, 31p. (Boletim Técnico n. 3).

KAMINSKI, J. **Efeito de cinco fosfatos pré e pós aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv Conti-Brasil), em três solos ácidos**. 1983. 126p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

KURTZ, T.; DeTURK, E.E.; BRAY, R.H. Phosphate adsorption by Illinois soils. **Soil Science**, v.61, p.111-124, 1946.

LOW, P.F.; BLACK, C.A. Reactions of phosphate with kaolinite. **Soil Science**, v.70, p.273-290, 1950.

NOVAIS, R.F., SMYTH, T. Jot., **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.1, p.37-41, 1979.

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. **Proceedings Soil Science of America Journal**, Madison, v.21, n.1, p.144-149, 1957.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.30, p.1-50, 1978.

RAIJ, B. Van, **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, São Paulo, Ed. Ceres: POTAFOS, 1991. 343p.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.57, p.78-159, 1996.

ROSSI, C. Determinação do fósforo remanescente e do teor de fósforo por diferentes extratores. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais CD-ROM**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

ROSSI, C.; FAGUNDES, J.L. Determinação do teor de fósforo em solos por diferentes extratores. **Revista de Agricultura**, v.73, n.2, p.215-227, 1998.

SANYAL, S.K.; DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances Soil Science**, San Diego, v.16, n.1, p.120, 1991.

SILVA, F.C.; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.2, p.267-288, 1999.

SILVEIRA, M.M.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, E.V.S.B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.281-291, 2006.

WOODRUFF, J.R.; KAMPRATH, E.J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherms and its relationship to phosphorus availability. **Proceedings Soil Science of America Journal**, Madison, v.29, n.1, p.148-150, 1965.

Recebido para publicação em: 25/05/2014

Aceito para publicação em: 25/06/2014