

IRIO FERNANDO DE FREITAS

**FÓSFORO EXTRAÍDO COM RESINAS TROCADORAS DE ÍONS E
MEHLICH-1 DE LATOSSOLOS SUBMETIDOS A FONTES E DOSES DE
FÓSFORO E TEMPOS DE CONTATO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F866f
2012

Freitas, Irio Fernando de, 1957-

Fósforo extraído com resinas trocadoras de íons e
Mehlich-1 de latossolos, submetidos a fontes e doses de
fósforo e tempos de contato / Irio Fernando de Freitas.

– Viçosa, MG, 2012.

ix, 32f. : il. ; 29cm.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 26-32

1. Solos - Teor de fósforo. 2. Latossolos. 3. Fósforo.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

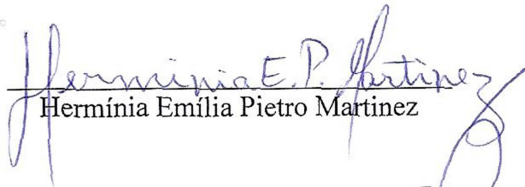
CDD 22. ed. 631.41

IRIO FERNANDO DE FREITAS

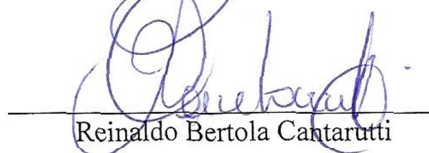
**FÓSFORO EXTRAÍDO COM RESINAS TROCADORAS DE ÍONS E
MEHLICH-1 DE LATOSSOLOS SUBMETIDOS A FONTES E DOSES DE
FÓSFORO E TEMPOS DE CONTATO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de maio 2012.


Hermínia Emília Pietro Martinez


Júlio César Lima Neves
(Coorientador)


Reinaldo Bertola Cantarutti


Roberto Ferreira de Novais
(Orientador)

A Deus, por aceitar.

À Judite, ao Rodrigo e à Bianca.

Ao Tiago e à Ana Cláudia, pelo incentivo.

Ao Roberto Novais e à Magda, por acreditar e apoiar.

*Se eu vi mais longe, foi por estar
de pé sobre ombros de gigantes.*

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir minha caminhada até aqui.

À Universidade Federal de Viçosa por me abrigar como seu servidor e acadêmico no curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao Departamento de Solos, por me acolher desde junho de 1976.

Ao meu orientador professor Roberto Ferreira de Novais e à sua esposa Magda Vieira de Novais, por acreditarem que seria possível concluir essa etapa.

À minha esposa Judite, que soube compreender a minha ausência.

Aos meus filhos Rodrigo e Tiago, às minhas noras Bianca e Ana Cláudia, pelo incentivo.

Aos professores Nairám, Reinaldo Cantarutti, Herminia, Liovando, pelo apoio.

Ao professor Júlio, pela amizade e disponibilidade ao longo de todo o processo.

À minha irmã do coração, Ecila, que tanto me ajudou com seus conselhos e sugestões.

Ao amigo José Luiz Texeiras, no apoio às análises estatísticas.

À Luciana, pelo seu sorriso e pela delicadeza para com nós estudantes.

Às secretárias Sônia, Tatiana, Leiliane e Claudinha.

Às secretárias da Revista Brasileira de Ciências dos Solos e da SBCS, Denise Cardoso, Denise Machado e Cíntia.

Aos companheiros de trabalho Janilson, Edilson, Rafael, Guilherme, Carlinhos, José Francisco, Helderson, Ciro, e a todos que, diretamente ou indiretamente, me apoiaram para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

IRIO FERNANDO DE FREITAS, filho de Antônio Alves de Freitas e Maria Isaías da Silva, nasceu em 6 de junho de 1957, em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Em fevereiro de 1977, ingressou no Laboratório de Rotina de Solo da Universidade Federal de Viçosa como Auxiliar Agropecuário, pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

Em novembro de 1977, transferido em definitivo para o quadro da UFV, onde atuou como Técnico de Laboratório do Departamento de Solos da UFV, em pesquisas desenvolvidas pelo grupo de Solos Florestais, liderados pelos Professores Nairam Félix de Barros, Roberto Ferreira de Novais e Júlio César Lima Neves, onde permaneceu até junho de 1989.

A partir de junho de 1989, foi remanejado para a área administrativa, onde atuou como Chefe de Controle de mão de obra da Prefeitura do *Campus* da UFV.

Em maio de 1992, assumiu a chefia do Serviço de Parques e Jardins da UFV, onde permaneceu até novembro do mesmo ano.

Em dezembro de 1992, retornou ao Departamento de Solos da UFV, atuando até a presente data como Técnico no Laboratório de Rotina de Solo.

Em maio de 2002, concluiu o ensino médio no Centro Estadual de Educação Continuada Dr. Altamiro Saraiva, em Viçosa, MG.

Em março 2003, iniciou o curso de Gestão em Cooperativas, na Universidade Federal de Viçosa, tendo concluído o mesmo em março de 2007.

Em maio de 2008, iniciou o curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão Pública, pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá-RJ, concluindo-o em janeiro de 2009.

Em agosto de 2010, ingressou no Mestrado do Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em 18 de maio de 2012.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
Efeito do tempo de contato	10
Efeito da extração preferencial de P-Ca e do desgaste do extrator Mehlich-1	17
Efeito do dreno-P e do dreno-Ca.....	20
Matriz de correlação entre os extratores	21
CONCLUSÕES	25
LITERATURA CITADA.....	26

RESUMO

FREITAS, Irio Fernando de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2012. **Fósforo extraído com resinas trocadoras de íons e Mehlich-1 de Latossolos, submetidos a fontes e doses de fósforo e tempos de contato.** Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Coorientadores: Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros.

Apesar do grande número de publicações voltadas para a avaliação da disponibilidade de P por diferentes métodos de extração, persistem ainda muitas indagações sobre o assunto. O objetivo deste trabalho foi comparar os extratores Mehlich-1, Resina Aniônica e Resina Mista, quanto à avaliação da disponibilidade de P em diferentes solos, utilizando fertilizante solúvel e fosfatos naturais reativo e não reativo, em diferentes doses de P e tempos de contato. O experimento foi conduzido em condições de laboratório em temperatura ambiente (25 a 35 °C), nas dependências do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em blocos casualizados, no fatorial $[(3 \times 3 \times 2) + 3] \times 4$, com quatro repetições, sendo três Latossolos com diferentes constituições texturais: um LV, muito argiloso; um LVA, franco-argilo-arenoso e um LA, franco-arenoso; três fontes de P: superfosfato triplo, fosfato reativo de Gafsa; e fosfato natural de Araxá, em duas doses de P: 75 e 150 mg dm⁻³, mais a dose 0 para cada solo; e em quatro tempos de contato fosfato-solo: 15, 30, 60 e 120 dias. As amostras dos solos foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, passadas em peneira de 2 mm, homogeneizadas e submetidas à caracterização física e química. A acidez dos solos foi corrigida de acordo com o método da saturação por bases, elevando-a para 60 % com a aplicação de CaCO₃ e MgCO₃, na relação molar de 4:1, sendo que para o LA não houve necessidade de correção. Essas amostras foram mantidas por 30 dias com a umidade na capacidade de campo. Após esse período, os solos foram secos e destorroados e fracionados em porções de 1 dm³ para aplicação dos tratamentos. Foram coletadas amostras nos tempos de contato estabelecidos e determinadas as concentrações do P-disponível pelos três extratores. Verificou-se, de modo geral, redução no teor do P-disponível pelos extratores Mehlich-1, Resina Mista (RM) e Resina Aniônica (RA), com o aumento do tempo de contato das fontes de P com os solos. Considerando-se as três fontes de P, essas reduções dos teores foram mais pronunciadas quando se utilizou o superfosfato triplo, com o fosfato reativo em posição intermediária e o fosfato de

Araxá o menos sensível ao efeito do tempo. Observou-se que a RA extraiu menores teores de P, nos três solos, quando as fontes foram os fosfatos naturais, ao passo que a RM aproxima-se dos valores obtidos pelo extrator Mehlich-1, no LV(argiloso) e LVA (textura média), para o fosfato reativo. Para o fosfato de Araxá, observaram-se valores de P bem mais elevados para o extrator Mehlich-1 do que para as Resinas, devido ao caráter ácido desse extrator. Para o superfosfato triplo, ambas as Resinas extraíram teores mais elevados de P do que o Mehlich-1, em decorrência do desgaste deste extrator, de modo particular no LV e LVA.

ABSTRACT

FREITAS, Irio Fernando de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May of 2012. **Phosphorus extracted from Oxisols after application of P sources and levels and contact times with ion exchange resins and Mehlich-1.** Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Co-advisers: Júlio César Lima Neves and Nairam Félix de Barros.

Although numerous publications have tried to determine soil available P by different extraction methods, a number of questions remain unsolved. The objective of this study was to compare the Mehlich-1, Anion Resin, and Mixed Resin methods, to assess P availability in different soils, after application of soluble fertilizer and reactive and non-reactive phosphates, at different P rates and contact times. The laboratory experiment was conducted at room temperature (25 - 35⁰C), at the Department of Soil Science of the Federal University of Viçosa, in randomized blocks in a [(3 × 3 × 2) + 3] × 4 factorial design with four replications. Three Oxisols with different soil texture were tested: a very clayey LV,; a sandy clay loam LVA, and a sandy loam LA; with three P sources: triple superphosphate, Gafsa reactive phosphate rock, and natural phosphate from Araxá at two P rates (75 and 150 mg dm⁻³), plus no treatment (0 dose) for each soil, after four phosphate - soil contact periods (15, 30, 60, and 120 days). Soil samples were collected from the 0 - 20 cm layer, sieved (2 mm), homogenized, and the physical and chemical properties analyzed. Soil acidity was corrected by raising base saturation to 60% with the application of CaCO₃ and MgCO₃ at a 4:1 molar ratio (LA required no correction). These samples were maintained at field moisture-capacity for 30 days. Thereafter, the soils were dried, crumbled and separated in 1-dm³ portions for the treatments. After the contact periods, the available-P concentrations in the samples were determined by the three extractors. Generally, the available P-content assessed by Mehlich-1, Mixed resin (MR), and anion resin (AR) decreased with increasing soil-P source contact time. For the three P sources, this reduction was most pronounced when using triple superphosphate, intermediate for reactive phosphate and phosphate Araxá was least sensitive to time effects. It was observed that AR extracted lower P levels from all three soils when the sources were phosphates, while MR extracted values close to Mehlich-1 in LV (clay) and LVA (medium texture) for reactive phosphate. For Araxá phosphate, much higher P values were determined by Mehlich-1 than by the resins, because of the acidity of the extractor. For triple superphosphate, both resins

extracted higher P levels than Mehlich-1, due to the consumption of the extractor, especially from LV and LVA.

INTRODUÇÃO

A caracterização química de um solo é a principal ferramenta para obtenção de informações sobre sua fertilidade. A avaliação da disponibilidade de fósforo (P) em um solo é complexa, por ser resultante da ação integrada dos fatores Intensidade (I), Quantidade (Q) e Capacidade Tampão ou Fator Capacidade de P (FCP). O I refere-se à concentração do nutriente na solução do solo, o Q à quantidade do nutriente que está adsorvida e, ou, precipitada, mas em equilíbrio com I, e o FCP é a medida da resistência que o solo tem à variação de I.

O teor de P disponível (Q+I) do solo, obtido nos laboratórios de rotina, é essencialmente o valor Q, uma vez que o valor de I tende para valores não detectáveis. Assim, para a correta interpretação da disponibilidade de P, é necessário o conhecimento do FCP, estimado a partir de características do solo que se correlacionam com o teor de argila ou com o P remanescente quando são usados extratores sensíveis ao FCP, como o Mehlich-1 (Oliveira et al., 2000; Simões Neto et al., 2009).

Apesar de o grande número de publicações voltadas para a avaliação da disponibilidade de P por diferentes métodos de extração, persistem ainda muitas indagações sobre o assunto (Novais & Smyth, 1999). E, a consulta à literatura revela que, nos anos mais recentes, não houve avanços importantes a esse respeito.

O extrator Mehlich-1 ou Norte Carolina baseia-se no princípio da dissolução ácida de P-Ca ou de fosfatos naturais de modo geral, e a dessorção do P retido nas superfícies de colóides do solo pelo ânion sulfato. Para Lopes et al. (1982), o extrator Mehlich-1 é razoavelmente adequado como indicador da disponibilidade de P em solos muito intemperizados, que não receberam fosfatos naturais mas, sim, fertilizantes fosfatados solúveis. Assim, o extrator Mehlich-1 é, consensualmente, recomendado para solos ácidos e de CTC baixa, que não tenham recebido fosfatos naturais, como no caso de solos de Cerrado, em geral. Por outro lado, o Mehlich-1 pode também subestimar valores do P disponíveis, em caso de solos argilosos, com características favoráveis à utilização deste extrator, por consumir H^+ , dada a condição tamponada do solo, e o SO_4^{2-} , este por adsorção nos oxi-hidróxidos predominantemente presentes na fração argila, quando comparados aos solos mais arenosos. Nessas condições, o extrator Mehlich-1 perde seu poder de extração, é

desgastado e os teores de P disponível no solo são subestimados (Novais et al., 2007).

Para solos ricos em P-Ca, os extratores Resina de Troca Aniônica ou Mista, o Bray-1 e o Mehlich-3, com baixa capacidade de extração de P-Ca, deverão ser mais eficientes que o Mehlich-1, como medida do P disponível para as plantas, de modo particular para aquelas de ciclo curto (Bahia Filho et al., 1983; Novelino et al., 1985; Oliveira et al., 2000; Alcântara et al., 2008). Todavia, os teores de P obtidos por extratores sensíveis a P-Ca, como o Mehlich-1, podem correlacionar-se com a resposta de plantas perenes, quando o FN é sua principal fonte de P. Porém, o extrator Mehlich-1 deixa de ser satisfatório quando o P-Ca torna-se fonte predominante de P para as plantas, de modo particular para aquelas de ciclo curto (Novais et al., 2007).

Em revisão envolvendo 72 trabalhos, Silva & Raij (1999) compararam vários métodos de extração de P e, com base no coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre o P acumulado na planta e o P do solo pelo extrator, concluíram que a Resina superou os demais métodos. Nesse trabalho, a não inclusão de uma medida do FCP como teor de argila ou P-remanescente, desqualifica, inapropriadamente, extratores como Mehlich-1, sujeitos a um desgaste variável entre solos, com diferentes valores do FCP. Por outro lado, o extrator Mehlich-1, mesmo não considerando medidas do FCP, foi superior à Resina em outros trabalhos (Santos & Kliemann, 2005; Simões Neto et al., 2011).

Alguns trabalhos mostram que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina Trocadora de Íons (Mista) foram igualmente eficientes na avaliação do P disponível do solo (Moreira & Malavolta, 2001; Santos & Kliemann, 2005; Bortolon & Gianello, 2006; Bortolon et al., 2011). Por outro lado, Silva et al. (1999), avaliando a eficiência dos extratores Mehlich-1 e Resina Mista em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul, concluíram que o método da Resina Mista, independentemente do tipo de solo e da fonte de P utilizada, mostrou-se mais adequado para estimar o P disponível. Também nesse trabalho variáveis relacionadas com o desgaste dos extratores ácidos, como teores de argila ou P-remanescente, não foram incluídos nas regressões ajustadas.

Segundo Raij et al. (1984), o Mehlich-1 destaca-se entre os métodos ácidos de extração de P disponível, dada sua grande vantagem para uso em laboratórios de rotina, principalmente por permitir a obtenção de extratos límpidos, evitando-se o

uso de papel de filtro, em razão da fácil decantação do extrato. Porém, esses mesmos autores recomendam que os extratores ácidos sejam pouco utilizados para avaliar o P disponível nos laboratórios de rotina em solos com predominância de P-Ca, em suas condições naturais, ou naqueles que receberam fosfatos naturais. Nesses casos, esses autores sugerem utilizar extratores como Bray-1, Olsen ou Resina Trocadora Aniônica ou Mista.

O método empregando a Resina Aniônica foi desenvolvido por Amer et al. (1955), e, generalizadamente, tem sido muito utilizado em análise de P disponível em solos que receberam FN reativos ou não (em trabalhos de pesquisa). Segundo Habib et al. (1998), este método de extração é lento e envolve a troca iônica do P do solo que indiretamente é desorvido pela Resina, com troca do P por um ânion como bicarbonato (HCO_3^-) ou sulfato adsorvidos à Resina. Esses autores argumentam que é necessária a separação da Resina de partículas de solo e material orgânico que a ela se misturam, tornando o processo lento e caro para uso em laboratório de rotina. Essa separação tornou-se simples e prática aos laboratórios de rotina de análise de fertilidade do solo com o trabalho desenvolvido por Raij et al. (1986).

Atualmente, o extrator utilizado na quantificação do P disponível nos laboratórios de rotina da rede oficial do Estado de São Paulo é a Resina de Troca de Íons Mista (50 % aniônica e 50 % catiônica), proposta por Raij & Quaggio (1983), com modificações apresentadas por Raij et al. (1986, 1987). A Resina Mista permite, numa única extração, avaliar a disponibilidade não apenas de P, mas também de outros ânions e de cátions trocáveis como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Este processo gera a adsorção do P em solução (I) nas cargas positivas da Resina Aniônica e, como consequência, a remoção do P adsorvido na superfície das partículas do solo, ou precipitado, mas em equilíbrio com o P em solução (I), tendo-se como consequência, essencialmente a dosagem do P lábil (Q) do solo (Skogley & Dobermann, 1996). Entretanto, a substituição da Resina Aniônica pela Mista pode levar a resultados equivocados do ponto de vista da disponibilidade de P, como superestimá-lo comparativamente aos resultados obtidos com a Resina Aniônica isoladamente. Ao se ter, também, a extração de Ca^{2+} pela Resina Catiônica, cria-se um mecanismo para drenar o Ca do sistema proveniente de formas de P-Ca, não-lábeis, induzindo à solubilização adicional de fosfatos naturais ou genericamente de formas de P-Ca que possam existir no solo (Robinson & Syers, 1990).

Habib et al. (1998) apresentaram um modelo de extração de P disponível, anteriormente desenvolvido por Sagggar et al. (1990), em que se utilizam os princípios da Resina Iônica. Tiras de membranas de Resinas (Catiônica e Aniônica), contendo, respectivamente, Na^+ e HCO_3^- adsorvidos, foram utilizadas conjuntamente, com o objetivo de extrair o P disponível em solos que receberam fosfato natural (FN) e fontes de P solúveis em água. Para Sagggar et al. (1990), a inclusão da Resina Catiônica no mesmo frasco com Resina Aniônica teve, como consequência, o aumento no teor de P extraído em razão da remoção do Ca^{2+} associado ao FN. Habib et al. (1998) prosseguem relatando que Sagggar et al. (1992a,b) compararam o método da Resina Mista em sete ensaios de solos e classificaram o método da Resina Mista como melhor para avaliar o P disponível para os solos que receberam FNs (FN reativo de Norte Carolina e o FN não reativo da Flórida) e o superfosfato triplo.

Estudo de correlação entre métodos de determinação de P disponível em 100 amostras de solos do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando os extratores Mehlich-1 e Resina de Troca Iônica (Mista), mostrou que estes extratores foram eficientes e similares na avaliação da disponibilidade de P, sendo que o Mehlich-1 extraiu menores teores que a Resina de Troca Iônica, provavelmente como consequência do desgaste a que o Mehlich-1 é submetido (Schlindwein & Gianello, 2008a).

A solubilização dos FNs, para suprir as necessidades de P de plantas, independentemente de seus ciclos, depende de três requisitos: o solo como dreno de Ca, a planta como dreno de P e de Ca e um terceiro componente que seria a fonte de prótons (solo ou planta). Para Novais et al. (2007), a baixa reatividade das apatitas brasileiras, em relação aos fosfatos naturais reativos do Norte da África ou de Norte Carolina, faz com que, comparados ao superfosfato triplo, tenham comportamento nem sempre satisfatório como fonte de P para plantas anuais.

O fracionamento do P inorgânico do solo tem demonstrado que o P acumulado na planta (ciclo curto) correlaciona-se, principalmente, com as frações P-Al e P-Fe e praticamente não se correlaciona ou apresenta correlação baixa com a fração P-Ca (Viégas et al., 2010). Por outro lado, formas imediatamente não disponíveis como a do P-Ca tornam-se lenta e gradualmente disponíveis para plantas perenes em geral (Novais & Smyth, 1999). Assim, a comparação entre os teores de P obtidos pela Resina Aniônica individualmente e pela Resina Mista, para solos que receberam P de fertilizantes solúveis e FNs, deverá esclarecer dúvidas quanto ao

comportamento dessas duas formas de extração do P disponível, comparativamente ao tradicional Mehlich-1.

Quanto ao efeito do tempo de contato da fonte de P com o solo, industrializada (solúvel) ou natural (fosfatos naturais reativos ou não reativos), o que se sabe, de modo geral, é que com o aumento do poder de adsorção do solo, o P solubilizado, colocado em solução pela fonte, será adsorvido pelo solo (forma lábil) e posteriormente fixado (forma não-lábil) em cinéticas positivamente relacionadas à solubilização/reatividade das fontes.

Assim, os fosfatos monocálcicos (superfosfatos, por exemplo), terão o P rapidamente colocado na solução do solo e, em seguida, rapidamente adsorvido e fixado por este solo. No outro extremo, uma apatita terá esses processos (solubilização e adsorção) ocorrendo em ritmo muito lento. Portanto, o efeito tempo é dependente da solubilidade/reatividade da fonte de P e das características do solo (maior ou menor poder de adsorção de P). Assim, para uma mesma fonte esses processos de solubilização e conseqüente adsorção ocorrem com maior ou menor rapidez dependendo do poder tampão ou fator capacidade de P do solo (o inverso do P- remanescente): em solos com valores menores de P-remanescente, esses processos serão acelerados.

Verifica-se, portanto, que, para os fosfatos naturais (baixa reatividade), comparativamente aos fosfatos industrializados, o efeito do tempo sobre suas solubilizações no solo é dependente do consumo (retenção) pelo solo dos produtos da solubilização (Ca^{2+} e H_2PO_4^- predominantemente). Conseqüentemente, o tempo necessário para solubilização dos fosfatos naturais diminui em solos mais tamponados ou com menores valores de P remanescente.

Para a avaliação desse efeito tempo são, com frequência, utilizados resina de troca aniônica ou extratores químicos, estes com sérias restrições quando se utilizam aqueles mais ácidos (pH 1,2) como o Mehlich-1, ou, idealmente, quando se utiliza o aumento do teor de Ca^{2+} no solo proveniente do fosfato natural.

Este trabalho teve como objetivo comparar os extratores Mehlich-1, Resina Aniônica e Resina Mista na determinação do P disponível de amostras de três Latossolos, tratados com diferentes fontes e doses de P e submetidos a diferentes tempos de contato solo-fonte de P.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em condições de laboratório em temperatura ambiente, com variações de 25 a 35⁰C, nas dependências do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Para tal, foram utilizadas amostras de três Latossolos coletadas da camada de 0 a 20 cm de profundidade: um Vermelho, da região de Sete Lagoas, LV muito argiloso; um Vermelho-Amarelo, da região de Três Marias, LVA franco-argilo-arenoso; e um Amarelo, do norte do Espírito Santo, LA franco arenoso. As amostras de solo coletadas foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm, homogeneizadas (TFSA) e encaminhadas para caracterização física e química (Quadro 1).

Os atributos químicos das amostras de solos seguiram os protocolos utilizados no Laboratório de Análise de Fertilidade do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Quadro 1). Para as determinações de P e K foi utilizado o extrator Mehlich-1; para Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ o extrator KCl 1 mol L⁻¹; para H+Al, o extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; e pH em H₂O, na relação 1:2,5. O P remanescente (P-rem) foi estimado em solução de equilíbrio contendo 60 mg L⁻¹ de P, em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na relação 1-10 (Alvarez V. et al. (2000). O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método Walkley-Black. O P foi determinado por colorimetria empregando-se o método da vitamina C, (Braga & Defelipo, 1974); e o K, por espectrofotometria de chama; Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Para a análise granulométrica, seguiu-se o método proposto por Ruiz (2005).

As três fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Gafsa e fosfato natural não reativo de Araxá) foram submetidas à digestão nítrico-perclórica para determinação de P, Ca e Mg totais (Quadro 2).

Os tratamentos resultaram do arranjo fatorial [(3 x 3 x 2) + 3] x 4, em quatro repetições, constituído de três solos com texturas distintas (argilosa, média e arenosa), três fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Gafsa e fosfato natural não reativo de Araxá), duas doses de P total da fonte (75 e 150 mg dm⁻³ de solo) mais os três solos sem adição de P e quatro tempos de contato (15, 30, 60 e 120 dias) das fontes de P com os solos. O esquema experimental foi de parcelas divididas no tempo, em que os solos, as fontes e as doses de P, constituíram os

tratamentos da parcela e o tempo de contato, os tratamentos da subparcela. O delineamento foi blocos casualizados com quatro repetições.

A acidez dos solos LV e LVA foi corrigida, elevando-se a saturação por bases, para 60 % com a aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 , na relação molar de 4:1. Os solos foram acondicionados em sacos plásticos. Para o LA não foi necessária a correção do solo. Essas amostras foram mantidas por 30 dias com a umidade na capacidade de campo. Transcorrido esse período, os solos foram secos, homogeneizados e separados em porções de 1 dm^3 para aplicação das fontes de P. Após a adição da fonte fosfatada, procedeu-se à sua homogeneização com solo, sendo, então, acondicionados em sacos plásticos, e a umidade dos solos elevada à capacidade de campo. Os sacos com os solos foram mantidos em condições de laboratório em temperatura ambiente.

Quadro 1. Atributos químicos e físicos das amostras de solos utilizadas no experimento

Atributo	LV	LVA	LA
pH em H_2O	4,79	4,37	5,39
Matéria orgânica (g kg^{-1})	56,3	12,8	20,5
P (mg dm^{-3})	1,3	0,4	7,1
P-rem (mg L^{-1})	12,0	25,3	47,4
K (mg dm^{-3})	21,0	19,0	121,0
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,43	0,15	2,93
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,08	0,0	1,03
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,09	0,50	0,00
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	10,6	3,6	1,6
Sat. por Al^{3+} (%)	41,1	71,4	0,0
SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,56	0,20	4,27
Saturação por bases (%)	12,8	5,3	72,7
CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,65	0,70	4,27
CTC pH 7 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	12,16	3,80	5,87
Areia grossa (g kg^{-1})	80	340	610
Areia fina (g kg^{-1})	30	340	160
Silte (g kg^{-1})	90	40	40
Argila (g kg^{-1})	800	280	190

Quadro 2. Teores totais ⁽¹⁾ de P, Ca e Mg nas fontes de P

Fonte	P ₂ O ₅	Ca	Mg
	g kg ⁻¹		
Fosfato reativo de Gafsa	304,3	346,8	14,1
Fosfato natural de Araxá	264,2	328,1	1,9
Superfosfato triplo	456,4	149,9	2,9

⁽¹⁾Digestão nítrico-perclórica.

Foram coletadas subamostras de cada unidade experimental nos tempos: 15, 30, 60 e 120 dias após a aplicação das fontes de P, e determinados os teores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCL 0,05 mol L⁻¹) (Nelson et al., 1953), Resina Aniônica (RA, IRA Amberlite-400) (Amer et al., 1955), e Resina Mista (RM, 50% de IRA Amberlite-400 + 50% de IRA Amberlite-120). (Raij & Quaggio, 2001)

O preparo das resinas seguiu os protocolos elaborados por Raij & Quaggio (2001). O tratamento das resinas consistiu de um pré-condicionamento com solução contendo 5 g de KH₂PO₄ PA, 4 g CaCl₂ 2H₂O PA, 2 g MgSO₄ 7H₂O PA, em 1000 mL de resina, mais 2000 mL de H₂O deionizada, para expansão das mesmas, por um período mínimo de 15 dias. Para eliminar maior parte dos sais após o pré-condicionamento, as Resinas foram lavadas cinco vezes com água deionizada por meio de um béquer e transferidas para colunas de percolação e procede-se a lavagem com H₂O, NaOH 1 mol L⁻¹, H₂O, HCL 1 mol L⁻¹, NH₄Cl 1 mol L⁻¹ e H₂O deionizada, respectivamente.

Para as determinações de P disponível empregando-se a RA e a RM, 2,5 cm³ de TFSA, foram colocados em frascos plásticos cônicos de 80 mL, acrescentando-se 25 mL de H₂O deionizada e uma esfera de vidro de tamanho médio, tipo gude, deixando-se em agitação circular horizontal por 15 min, a 220 rpm, para desagregar o solo. Após esse período, a esfera de vidro foi retirada e acrescentados 2,5 cm³ da RA ou da RM, tratada com NaHCO₃ 1 mol L⁻¹ pH 8,5. Esta mistura contendo a RA ou a RM mais H₂O e solo foi submetida à agitação circular horizontal, a 220 rpm, por 16 h; após esse período de agitação, as resinas foram separadas do solo acondicionando-as em peneiras com malha de poliéster de 0,4 mm e lavadas com água deionizada, sendo transferidas, individualmente, para frascos de 100 mL, nos quais foram

adicionados 50 mL de solução de NH_4Cl 0,8 mol L^{-1} em HCl 0,2 mol L^{-1} , deixando-as em repouso por 30 min para eliminação do CO_2 , para evitar acidificação do meio. Decorrido esse período, os frascos foram fechados, procedendo-se à agitação circular horizontal, a 220 rpm, por uma hora. O P contido na solução-extrato da Resina (RA ou RM) foi determinado por colorimetria empregando-se o método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974).

Para as determinações dos teores de P disponível pelo extrator Mehlich-1, foram tomados 10 cm^3 de solo (TFSA) e acondicionados em erlemeyer de 125 mL, acrescentando-se 100 mL do extrator. Essas misturas foram submetidas a um agitador horizontal por 5 min, a 190 rpm, deixando-as em decantação por 16 h. Logo após esse período, foram retiradas alíquotas do sobrenadante para determinação dos teores de P disponível (Braga & Defelipo, 1974).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, O efeito do tempo de contato em cada combinação de solo, fonte e dose foi avaliado por meio de equações de regressões. Para cada solo, os teores médios de P obtidos pelos extratores foram comparados pelo Teste de Tukey a 5 %, para cada combinação de fonte, dose de P e tempo de contato.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do tempo de contato

Verificou-se, de modo geral, redução no teor do P pelos extratores Mehlich-1 (M1), Resina Mista (RM) e Resina Aniônica (RA), com o aumento do tempo de contato das fontes de P com os solos (Quadros 3, 4, 5, 6, 7 e 8). Considerando-se as três fontes de P, as reduções nos teores do P extraído foram mais pronunciadas quando se utilizou o Superfosfato Triplo (Supertriplo), com o fosfato de Gafsa (reativo) em posição intermediária e o fosfato de Araxá (não reativo) o menos sensível ao efeito do tempo. Resultados semelhantes são encontrados na literatura, para fontes solúveis (Gonçalves et al; 1985; Campello et al; 1994) e fosfatos naturais (Novelino et al; 1985). Loganathan & Fernando (1980) e Singh et al. (1983) observaram que ao incorporar uma fonte solúvel de P em solo com característica dreno-P, mais de 90 % deste P é adsorvido nas primeiras horas de contato. Vale ressaltar que foram utilizadas no presente estudo amostras de três Latossolos, todos com característica dreno-P, e que as diminuições acentuadas registradas nos teores de P pelos três extratores, quando utilizado o Supertriplo, é consequência da liberação imediata do P para a solução do solo (Novais & Smyth, 1999).

Embora, o aumento do tempo de contato tenha influência positiva sobre a solubilização do fosfato de Araxá, estimada pelo aumento do teor de Ca trocável no solo, como relatado por Khasawneh & Doll (1978), sabe-se que os teores da fração não-lábil formada aumentam mais rapidamente que os da fração lábil (Novais et al., 1980; Novelino et al., 1985), fazendo com que nos solos com menores valores de P-remanescente (mais intemperizados e, portanto, mais tamponados) o efeito do tempo de contato seja na direção de diminuir o teor de P extraível e, por conseguinte, restringir o crescimento da planta.

Quadro 3. Teores de P obtidos com os extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, com adição de fontes e doses de P, com vários tempos de contato solo-fonte de P

Tempo de contato	Fonte	Dose	Extrator			
			RA	RM	M1	
dia			mg dm ⁻³			
15	Testemunha	0	3,35 a	5,85 a	1,99 a	
		Gafsa	75	15,30 b	37,33 a	42,04 a
			150	24,55 c	55,85 b	81,16 a
	Araxá	75	4,37 b	8,67 b	31,21 a	
		150	4,87 c	12,83 b	61,36 a	
	Supertriplo	75	24,32 b	29,92 a	14,51 c	
		150	46,34 b	55,74 a	29,70 c	
30	Testemunha	0	5,78 a	5,75 a	2,20 a	
		Gafsa	75	13,11 b	23,99 a	27,20 a
			150	19,65 b	48,66 a	54,04 a
	Araxá	75	7,56 b	8,65 b	23,77 a	
		150	6,32 c	12,04 b	54,20 a	
	Supertriplo	75	21,15 a	25,88 a	12,17 b	
		150	40,43 b	47,92 a	23,31 c	
60	Testemunha	0	3,56 a	2,10 a	1,63 a	
		Gafsa	75	10,38 b	23,08 a	18,90 a
			150	16,47 c	47,70 b	57,19 a
	Araxá	75	3,97 b	9,54 b	23,77 a	
		150	4,31 c	10,82 b	46,63 a	
	Supertriplo	75	15,97 b	22,44 a	9,09 c	
		150	34,08 a	39,28 a	20,05 b	
120	Testemunha	0	3,48 a	5,61 a	2,04 a	
		Gafsa	75	10,71 b	21,47 a	23,39 a
			150	20,48 c	48,57 b	56,15 a
	Araxá	75	3,48 b	8,65 b	21,89 a	
		150	8,31 b	12,03 b	45,06 a	
	Supertriplo	75	16,56 a	19,24 a	10,45 b	
		150	34,024a	36,529 a	20,492 b	

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não difere estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey.

Quadro 4. Teores de P obtidos com os extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico franco-argilo-arenoso, com adição de fontes e doses de P, com vários tempos de contato solo-fonte de P

Tempo de contato	Fonte	Dose	Extrator			
			RA	RM	M1	
dia			mg dm ⁻³			
15	Testemunha	0	3,60 a	3,85 a	0,46 a	
		Gafsa	75	13,59 b	35,87 a	36,55 a
			150	28,43 c	63,41 b	103,81 a
	Araxá	75	4,40 b	6,46 b	31,29 a	
		150	4,34 c	14,89 b	68,63 a	
	Supertriplo	75	27,95 a	31,44 a	15,03 b	
		150	61,75 a	63,92 a	37,80 b	
30	Testemunha	0	3,77 a	4,03 a	1,05 a	
		Gafsa	75	14,31 c	27,57 b	33,25 a
			150	24,24 c	57,64 b	79,09 a
	Araxá	75	7,53 b	7,23 b	27,67 a	
		150	6,02 c	12,85 b	64,71 a	
	Supertriplo	75	24,65 a	26,26 a	12,02 b	
		150	53,83 a	56,55 a	31,32 b	
60	Testemunha	0	3,50 a	1,65 a	0,53 a	
		Gafsa	75	12,05 b	28,09 a	22,74 a
			150	17,70 c	45,97 b	72,64 a
	Araxá	75	4,09 b	7,70 b	24,40 a	
		150	4,19 c	10,24 b	55,18 a	
	Supertriplo	75	20,02 a	24,81 a	10,41 b	
		150	44,39 b	54,14 a	28,99 c	
120	Testemunha	0	3,48 a	0,89 a	0,71 a	
		Gafsa	75	13,47 b	28,13 a	24,21 a
			150	28,68 c	47,35 b	71,44 a
	Araxá	75	3,48 b	7,77 b	25,22 a	
		150	8,06 b	13,17 b	58,86 a	
	Supertriplo	75	21,51 a	22,42 a	10,85 b	
		150	51,13 a	51,80 a	29,16 b	

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não difere estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey.

Quadro 5. Teores de P obtidos com os extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em amostras de um Latossolo Amarelo franco-arenoso, com adição de fontes e doses de P, com vários tempos de contato solo-fonte de P

Tempo de contato	Fonte	Dose	Extrator		
			RA	RM	M1
dia			mg dm ⁻³		
15	Testemunha	0	8,52 a	11,38 a	8,25 a
		75	14,46 c	45,47 b	81,27 a
		150	16,81 c	75,49 b	132,48 a
	Araxá	75	12,54 b	16,00 b	69,42 a
		150	13,15 c	23,47 b	125,44 a
		Supertriplo	75	49,90 a	47,62 a
		150	103,59 a	106,50 a	101,11 a
30	Testemunha	0	6,14 a	11,26 a	8,32 a
		75	19,82 c	42,06 b	76,31 a
		150	18,74 c	69,74 b	116,15 a
	Araxá	75	6,87 c	15,41 b	50,51 a
		150	10,87 c	21,15b	106,23 a
		Supertriplo	75	47,95 a	42,34 b
		150	103,67 a	93,90 b	92,47 b
60	Testemunha	0	8,86 a	7,97 a	7,05 a
		75	10,79 c	36,22 b	66,40 a
		150	12,87 c	57,49 b	148,92 a
	Araxá	75	4,84 c	13,12 b	54,92 a
		150	9,79 c	15,89 b	106,78 a
		Supertriplo	75	35,65 b	47,54 a
		150	75,75 b	94,17 a	91,71 a
120	Testemunha	0	8,70 a	8,20 a	7,82 a
		75	15,70 c	38,76 b	62,68 a
		150	19,37 c	73,45 b	146,32 a
	Araxá	75	10,10 b	13,61 b	53,50 a
		150	10,86 c	18,90 b	111,98 a
		Supertriplo	75	45,29 a	49,89 a
		150	99,69 a	96,38 a	92,15 b

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não difere estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey.

Provavelmente, em solos pouco intemperizados ou muito ricos em matéria orgânica, com amplo domínio de cargas negativas sobre positivas, a solubilização de FNs seja essencialmente causada pelo consumo, pela CTC do solo, do Ca^{2+} liberado pelo FN (Corrêa et al., 2005), fazendo com que o efeito do tempo de contato sobre o crescimento de planta não seja tão negativo ou até mesmo não significativo. Nessas condições, o dreno-planta para P pode se tornar mais efetivo que o dreno-solo para este nutriente ao longo do tempo de contato, governando a cinética de solubilização e de disponibilização de P para a planta.

Quadro 6. Equações para os teores de P (mg dm^{-3}) pelos extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em função do tempo (T, em dia) de contato para um Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso, com adição de fontes de P em diferentes doses

Fonte	Dose	Equação	R ²
Resina Aniônica			
Testemunha	0	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 4,04$	
Gafsa	75	$\widehat{RA} = 17,9056 - 0,19148^{**} T + 0,001100^{*} T^2$	0,9999
	150	$\widehat{RA} = 28,9783 - 0,35886^{**} T + 0,00240^{**} T^2$	0,9748
Araxá	75	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 4,85$	
	150	$\widehat{RA} = 4,3927 + 0,02776^{*} T$	0,5202
Supertriplo	75	$\widehat{RA} = 28,9203 - 0,32362^{**} T + 0,00184^{*} T^2$	0,9973
	150	$\widehat{RA} = 52,5406 - 0,46830^{**} T + 0,00262^{**} T^2$	0,9974
Resina Mista			
Testemunha	0	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 4,82$	
Gafsa	75	$\widehat{RM} = 69,1511 - 10,96210^{**} T^{1/2} + 0,60780^{**} T$	0,8790
	150	$\widehat{RM} = 75,9062 - 6,92734^{*} T^{1/2} + 0,40658^{**} T$	0,9101
Araxá	75	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 8,88$	
	150	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 11,93$	
Supertriplo	75	$\widehat{RM} = 29,6121 - 0,09310^{**} T^{1/2}$	0,8901
	150	$\widehat{RM} = 86,0585 - 9,55474^{**} T^{1/2} + 0,45891^{*} T$	0,9986
Mehlich-1			
Testemunha	0	$\widehat{M1} = \overline{M1} = 1,96$	
Gafsa	75	$\widehat{M1} = 53,2699 - 0,94693^{**} T + 0,00583^{**} T^2$	0,9557
	150	$\widehat{M1} = 87,9258 - 0,94455^{**} T + 0,00572^{**} T^2$	0,6288
Araxá	75	$\widehat{M1} = 28,8687 - 0,06593^{**} T$	0,5500
	150	$\widehat{M1} = 68,5273 - 0,54472^{**} T + 0,00291^{**} T^2$	0,9966
Supertriplo	75	$\widehat{M1} = \overline{M1} = 11,55$	
	150	$\widehat{M1} = 34,0712 - 0,37841^{**} T + 0,00222^{**} T^2$	0,9472

*, ** - Significativo a 5 e 1% , respectivamente, pelo teste F.

Quadro 7. Equações para os teores de P (mg dm⁻³) pelos extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em função do tempo (T, em dia) de contato para um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, franco-argilo-arenoso, com adição de fontes de P em diferentes doses

Fonte	Dose	Equação	R ²
Resina Aniônica			
Testemunha	0	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 3,59$	
Gafsa	75	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 13,35$	
	150	$\widehat{RA} = 36,0097 - 0,53629^{**} T + 0,00396^{**} T^2$	0,9886
Araxá	75	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 4,85$	
	150	$\widehat{RA} = 3,9761 + 0,02982^* T$	0,5857
Supertriplo	75	$\widehat{RA} = 32,3842 - 0,31931^{**} T + 0,00190^* T^2$	0,9992
	150	$\widehat{RA} = 71,7971 - 0,74124^{**} T + 0,00474^{**} T^2$	1,0000
Resina Mista			
Testemunha	0	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 2,60$	
Gafsa	75	$\widehat{RM} = 55,0648 - 6,76421^* T^{1/2} + 0,39618^* T$	0,8016
	150	$\widehat{RM} = 73,3454 - 0,67616^{**} T + 0,00382^{**} T^2$	0,9902
Araxá	75	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 7,29$	
	150	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 12,79$	
Supertriplo	75	$\widehat{RM} = 30,2669 - 0,07172^{**} T$	0,7617
	150	$\widehat{RM} = 67,5824 - 0,35299^{**} T + 0,00186^* T^2$	0,9142
Mehlich-1			
Testemunha	0	$\widehat{M1} = \overline{M1} = 0,69$	
Gafsa	75	$\widehat{M1} = 44,8894 - 0,53615^{**} T + 0,00302^{**} T^2$	0,9658
	150	$\widehat{M1} = 116,1470 - 1,20266^{**} T + 0,00695^{**} T^2$	0,8786
Araxá	75	$\widehat{M1} = 34,8136 - 0,27387^* T + 0,00162^* T^2$	0,9917
	150	$\widehat{M1} = 76,8994 - 0,55078^{**} T + 0,00333^{**} T^2$	0,9739
Supertriplo	75	$\widehat{M1} = \overline{M1} = 12,08$	
	150	$\widehat{M1} = 41,5467 - 0,34471^{**} T + 0,00202^{**} T^2$	0,9103

*, ** - Significativo a 5 e 1% , respectivamente, pelo teste F.

Quadro 8. Equações para os teores de P (mg dm⁻³) pelos extratores Resina Aniônica (RA), Resina Mista (RM) e Mehlich-1 (M1), em função do tempo (T, em dia) de contato para um Latossolo Amarelo franco arenoso, com adição de fontes de P em diferentes doses

Fonte	Dose	Equação	R ²
Resina Aniônica			
Testemunha	0	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 8,05$	
Gafsa	75	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 15,19$	
	150	$\widehat{RA} = \overline{RA} = 16,95$	
Araxá	75	$\widehat{RA} = 16,6543 - 0,36101^{**} T + 0,00256^{**} T^2$	0,9278
	150	$\widehat{RA} = 14,8145 - 0,14288^{*} T + 0,00092^{*} T^2$	0,9388
Supertriplo	75	$\widehat{RA} = 60,3655 - 0,64544^{**} T + 0,00432 T^2$	0,8761
	150	$\widehat{RA} = 126,1600 - 1,31006^{**} T + 0,00904 T^2$	0,7794
Resina Mista			
Testemunha	0	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 9,70$	
Gafsa	75	$\widehat{RM} = 66,7244 - 6,87001^{*} T^{1/2} + 0,39252^{*} T$	0,9494
	150	$\widehat{RM} = 129,5440 - 18,06370^{**} T^{1/2} + 1,17639^{**} T$	0,8691
Araxá	75	$\widehat{RM} = \overline{RM} = 14,74$	
	150	$\widehat{RM} = 28,2554 - 0,32187^{**} T + 0,00203^{*} T^2$	0,9738
Supertriplo	75	$\widehat{RM} = 44,3857 - 0,04379^{*} T$	0,4048
	150	$\widehat{RM} = 139,1090 - 11,49290^{**} T^{1/2} + 0,69730^{**} T$	0,8351
Mehlich-1			
Testemunha	0	$\widehat{M1} = \overline{M1} = 7,86$	
Gafsa	75	$\widehat{M1} = 88,9026 - 0,51898^{**} T + 0,00250^{**} T^2$	0,9963
	150	$\widehat{M1} = 124,0320 + 0,21216^{**} T$	0,4680
Araxá	75	$\widehat{M1} = 105,8230 - 13,15110^{**} T^{1/2} + 0,77310^{**} T$	0,6595
	150	$\widehat{M1} = 177,1530 - 18,29280^{**} T^{1/2} + 1,13309^{**} T$	0,8390
Supertriplo	75	$\widehat{M1} = 56,3566 - 0,35066^{**} T + 0,00220^{**} T^2$	0,8857
	150	$\widehat{M1} = 104,5670 - 0,37514^{**} T + 0,00228^{**} T^2$	0,7822

*, ** - Significativo a 5 e 1% , respectivamente, pelo teste F.

Para o caso específico da RM, essa redução dos teores de P com o tempo foi verificada quando se utilizou o fosfato de Araxá, porém em valores inferiores aos do fosfato de Gafsa e deste inferior aos do Supertriplo. Observou-se também que o efeito do tempo é mais evidente no solo argiloso (LV, com 800 g kg^{-1} de argila) de modo geral, para os três extratores, como também observado por Robinson et al. (1992). Vale ressaltar que para as doses 75 e 150 mg/dm^3 de P seguiram as mesmas tendências de resultados do P-disponível tanto para os solos, fontes e os extratores.

Efeito da extração preferencial de P-Ca e do desgaste do extrator Mehlich-1

Os teores de P pelo M1 foram superiores aos obtidos pelas duas Resinas quando considerada a média das doses de fosfato de Araxá e Gafsa, dos tempos de contato (Quadro 9). Extratores ácidos solubilizam predominantemente o P-Ca, resultando em valores superestimados do P extraível, como uma aproximação do “P-disponível”, como no tratamento com fosfato de Araxá e, em menores quantidades, naqueles com o fosfato de Gafsa, como também observado por outros autores (Olsen & Khasawneh, 1980, Novelino et al., 1985). Todavia, o P extraído por extratores muito sensíveis a P-Ca, como o M1, pode correlacionar-se com a resposta da planta quando o fosfato natural é a principal fonte de P, de modo particular para aquelas plantas que apresentam acidificação da rizosfera e elevada demanda por Ca (planta com dreno-Ca elevado) e daquelas com crescimento mais lento, como as perenes, de modo geral (Pavan & Chaves, 1996; Fernandez et al., 2000).

Observou-se que a RA extraiu menores teores de P nos três solos quando a fonte de P utilizada foi o fosfato reativo de Gafsa e com teores ainda menor para o fosfato não reativo de Araxá (para a média das doses de 75 e 150 mg dm^{-3}), dado o fato deste extrator não ser sensível ao P-Ca. Por outro lado, os teores pela RM, aproximaram-se daqueles obtidos pelo extrator M1, quando a fonte foi fosfato reativo de Gafsa, embora ainda diferentes estatisticamente entre si no LVA e, de modo particular, no LV, condição para que este extrator tenha seu poder de extração desgastado (Quadro 9). Ieiri et al. (2010) também obtiveram menor teor de P extraído pela RA, comparativamente ao M1, em amostras de solo fertilizadas com Hiperfosfato de Gafsa, em um LV distrófico textura média.

Quadro 9. Teor de fósforo disponível pelos três extratores testados, considerando-se a dose 0 e a média das doses 75 e 150 mg dm⁻³ de P, e a média dos tempos de contato, para os fosfatos de Gafsa, fosfato de Araxá e Superfosfato Triplo

Solo	Dose	RA	RM	M1
mg dm ⁻³				
Testemunha				
LV	0,0	4,04 ab	4,83 a	1,96 b
LVA	0,0	3,59 a	2,60 ab	0,69 b
LA	0,0	8,06 a	9,70 a	7,86 a
Fosfato de Gafsa				
LV	75 e 150	16,33 c	38,33 b	45,01 a
LVA	75 e 150	19,06 c	41,76 b	55,47 a
LA	75 e 150	16,07 c	54,83 b	103,82 a
Fosfato de Araxá				
LV	75 e 150	5,40 c	10,40 b	38,49 a
LVA	75 e 150	5,26 c	10,04 b	44,49 a
LA	75 e 150	9,88 c	17,19 b	84,85 a
Superfosfato Triplo				
LV	75 e 150	29,11 b	34,62 a	17,47 c
LVA	75 e 150	38,15 b	41,42 a	21,95 c
LA	75 e 150	70,19 b	72,29 a	70,76 ab

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não difere estatisticamente a 5 % pelo teste de Tukey.

RA: Resina Aniônica; RM: Resina Mista; M1: Mehlich-1.

Para o Supertriplo, ambas as Resinas extraíram teores de P mais próximos entre si, embora diferentes pelo teste de médias, $RM > RA$, mas superiores aos do M1. Todavia, no solo mais argiloso (LV, com 800 g kg⁻¹ de argila), com menor P-remanescente (Quadro 1), observou-se maior diferença entre os resultados obtidos para essa comparação entre os extratores (bem menos para o M1). Nos solos mais arenosos (LVA e LA) (Quadro 1), condição para menor desgaste do M1, os teores de P por este extrator aproximaram-se, embora ainda estatisticamente menores, dos teores obtidos pelas Resinas (Quadro 9). Esta comparação obriga a utilização de uma medida de tampão do solo, como teor de argila (Bortolon & Gianello, 2008a) ou, mais adequadamente, do P-remanescente (Simões Neto et al., 2009), quando se comparam resultados do P-disponível por extratores sensíveis ao desgaste como o

M1 e os não sensíveis (ou muito pouco sensíveis) como as Resinas Iônicas. Essa tendência foi observada por Schlindwein & Gianello (2008b) e Simões Neto et al. (2009) que comentaram a grande influência do teor de argila dos solos sobre a capacidade extratora do Mehlich-1 e da resina aniônica.

Nos solos de textura média e argilosa o desgaste do extrator M1 foi crescentemente mais evidenciado quando foram usadas fontes solúveis de P, como o Supertriplo, dada a liberação imediata de seu conteúdo de P para a solução do solo e, nestas condições, maior ou menor desgaste do extrator não ser tão importante. Duas razões que levam ao desgaste de um extrator como o M1 são: o pH do solo, uma vez que nos solos mais argilosos, com acidez mais tamponada, o pH inicial deste extrator (1,2 em uma solução não tamponada), eleva-se rapidamente, aproximando-se do pH do solo (diminuindo a extração de formas solúveis em meio ácido como o P-Ca, em particular) (Gatiboni et al., 2005) e a segunda razão é o consumo do SO_4^{2-} (que extrai o P por troca com fosfato adsorvido ao solo) ao ocupar, particularmente nos solos mais argilosos, sítios ainda não ocupados pelo fosfato (Novais et al., 2007). Assim, o poder de extração do extrator é exaurido ou desgastado, subestimando os teores de P extraível do solo, à medida que o teor de argila do solo aumenta (Bortolon & Gianello, 2008a) ou o seu P-remanescente diminui (Simões Neto et al., 2011) (Quadros 1 e 9).

Nos solos mais arenosos (LVA e LA), condição para que o desgaste do extrator M1 seja menor, as diferenças entre este extrator e a RM na extração de P tenderam a valores mais próximos, com a aplicação do fosfato de Gafsa, graças a dois efeitos que se contrapõem: o primeiro caracterizado pela grande extração do P-Ca do fosfato de Gafsa e outro pelo desgaste deste extrator, de modo a subestimar o P-extraível. Também para o fosfato de Araxá, esses efeitos seguem a mesma tendência do Gafsa, porém com um distanciamento maior entre o M-1 e a RM, ocorrendo um forte predomínio da extração de P-Ca sobre a perda do poder de extração do M1 por meio de seu desgaste, mesmo para o solo mais argiloso e mais tamponado (LV) (Quadro 9)

Farias et al. (2009) atribuíram à possível adsorção do P aos coloides na forma de P-Fe e, ou, P-Al, e não P-Ca, considerando-se, neste caso, que o P não precipitou-se com o Ca do solo, resultando no maior teor de P extraído pela RM.

A extração do P dos fosfatos naturais pela RM aproximou-se mais à do M1 pelo fato de a RM, ao extrair ânions e cátions, atuar como dreno-Ca e de não sofrer desgaste como o M1. Para Souza Júnior et al. (2012), a RM tem comportamento

semelhante ao Mehlich-1 mesmo em solos ricos em Ca^{2+} , com pH tendendo a alcalino, condição para o predomínio do P na forma P-Ca. No presente trabalho, a proximidade entre os extratores RM e M1 ocorreu principalmente com o fosfato reativo de Gafsa, no LV, um Latossolo muito argiloso, muito tamponado (P-remanescente = $12,0 \text{ m L}^{-1}$), condição em que o extrator M1 sofre grande desgaste.

Cabe salientar que as Resinas não sofrem desgaste como o M1, apesar de alguns autores comentarem que há desgaste da RA, mesmo que mínimo (Campello et al., 1994; Fernandez R. et al., 2008).

Efeito do dreno-P e do dreno-Ca

As Resinas teoricamente deveriam ter uma função semelhante à das raízes, que ao adsorver o P da solução vão, gradualmente, consumindo o P-lábil do solo (Gatiboni et al., 2005). Na realidade, a RA pode subestimar o P disponível para as plantas, de modo particular para as perenes, por não atuar na solubilização de algumas formas não-lábeis de P, como a P-Ca, que algumas plantas solubilizam no ambiente ácido da rizosfera ou pela alta absorção de Ca. Observou-se, ainda, para os dois fosfatos naturais, que os teores de P pela RM são bem superiores aos obtidos pela RA, independente dos teores de argila dos solos (Quadro 9). Esses maiores teores extraídos pela RM estão, provavelmente, ligados ao fato de a RM extrair Ca simultaneamente ao P do solo. Com a dissolução de fosfatos naturais no solo, ocorre aumento das concentrações de Ca^{2+} e de H_2PO_4^- (também de HPO_4^{2-}) nas vizinhanças das partículas de fosfato, tendendo a um equilíbrio de modo a restringir a dissolução dos fosfatos. A retirada ou diminuição dos teores desses produtos da dissolução do fosfato de sua proximidade causa aumento na taxa de solubilização dos fosfatos naturais. Robinson & Syers (1990) e Corrêa et al. (2005), em condições de laboratório e casa de vegetação, respectivamente, mostraram que o dreno-Ca foi a condicionante mais importante na solubilização do fosfato de Gafsa, em comparação com o dreno-P e mesmo com o pH.

Alguns questionamentos podem surgir a respeito da RM e de seu comportamento de extrator múltiplo, o que significa simplificação da rotina dos laboratórios de análise de solo (Raij et al., 1986), ao comparar o comportamento deste extrator com o da planta, e essa dependência da extração de P de fosfatos naturais à sua extração também do Ca^{2+} . Pode-se argumentar que a planta também

extrai Ca, tornando a RM conveniente por também ter, como a planta, característica de dreno-Ca. Todavia, deve-se ter em mente que enquanto uma cultura extrai por hectare algo menor que o equivalente a $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, a RM pode extrair mais de uma centena de vezes mais Ca^{2+} de um solo que a planta.

Portanto, o muito maior dreno-Ca da RM que o da planta sugere a extração de valores superestimados de P por este extrator, comparativamente a RA, esta provavelmente mais próxima da demanda da planta que a RM. Semelhantemente, a RM aproxima-se mais do M1 que a RA, podendo-se debitar à RM valores superestimados do P-disponível em solos intemperizados que receberam fosfatos naturais ou naqueles solos naturalmente ricos em P-Ca, como naqueles de clima temperado de modo geral, principalmente para aquelas plantas de ciclo curto. Pode-se conjecturar que a RA seria mais adequada para plantas de ciclo curto e a RM para as perenes.

Matriz de correlação entre os extratores

A comparação entre teores de P do solo extraído por diferentes extratores, em uma matriz de correlação, não parece adequada quando diferentes solos são envolvidos, com diferentes valores de poder-tampão (teores de argila ou P-remanescente) e, não menos importante, utilizando fontes de P desde aqueles solúveis até fosfatos naturais com reatividades distintas (uma reativa *versus* uma não-reativa, por exemplo). Como já discutido, extratores sensíveis ao poder tampão do solo, como o M1, susceptível a um desgaste crescente de seu poder de extração com o aumento do poder tampão de solos, não podem ser comparados com as Resinas Iônicas, não sujeitas a desgastes significativos, sem a inclusão de um fator de correção para o M1 de seus teores do P extraído (Novais & Kamprath, 1978; Bahia Filho et al., 1983).

Semelhantemente, extratores sensíveis ao P-Ca como o M1 não podem ser comparados com a RA, não sensível a P-Ca, e esta com a RM com sensibilidade intermediária à da M1 e RA. Verificou-se, portanto, que estudos de correlação linear simples entre extratores têm pouca utilidade ou causam equívocos e interpretações grosseiras quando diferentes fontes de P são comparadas, como observado por Bahia Filho et al. (1983).

No presente trabalho, para a média dos teores de P para solos, fontes e doses de P (Quadro 10) observou-se que os coeficientes de correlação entre extratores são muito pouco ou não sensíveis ao efeito do tempo de contato, o que pode ser observado pela semelhança entre esses coeficientes com a média dos tempos, o que se denominou “Geral”. Em todas essas comparações a RA correlaciona-se com a RM (os efeitos de desgaste e de fonte de P, essencialmente o primeiro anulado). Por outro lado, a correlação entre M1 e RA não é significativa (o primeiro extrator muito sensível ao desgaste, enquanto o segundo não sensível e não capaz de extrair o P-Ca como o M1), por outro lado, o M1 correlaciona-se com a RM embora com valores absolutos dos coeficientes não tão elevados (da ordem de 0,5 a 0,6), dada a maior sensibilidade da RM ao P-Ca, comparativamente a RA, e a grande sensibilidade do M1 a esta forma mineral de P.

Quadro 10. Matriz de correlação geral entre extratores (Resina Aniônica - RA, Resina Mista - RM e Mehlich-1 - M1) dentro de cada tempo de contato para as médias de solos, fontes e doses de P

Tempo de contato	Variável	RA	RM
dia			
Geral ⁽¹⁾	RM	0,8358**	
	M1	0,2600 ^{ns}	0,5836**
15	RM	0,8297**	
	M1	0,2304 ^{ns}	0,5623**
30	RM	0,8246**	
	M1	0,2787 ^{ns}	0,5879**
60	RM	0,8644**	
	M1	0,2106 ^{ns}	0,5409**
120	RM	0,8454**	
	M1	0,3049 ⁰	0,6293**

^{ns}, ⁰, ** - não significativo e significativo a 10 e 1 %, respectivamente, pelo teste t. ⁽¹⁾ Para todos os tempos.

Quando o efeito fonte de P é isolado, mantendo-se o efeito solo e sua influência sobre o efeito desgaste do extrator (Quadro 11), verificou-se maior dispersão entre os valores dos coeficientes de correlação dado o destaque para o efeito fonte de P. Os extratores apresentam os melhores coeficientes de correlação (quanto à significância e aos maiores valores absolutos) quando a fonte de P utilizada é o Supertriplo, sem a forma P-Ca que causa comportamento diferencial entre os extratores. Nessa condição, mais frequente nos solos tropicais, mais intemperizados (pobres em P-Ca) e que não receberam fosfatos naturais os extratores M1, RA e RM tem comportamento semelhante, mesmo que, nessa condição, o efeito solo sobre o desgaste do M1 não tenha sido isolado.

Quadro 11. Matriz de correlação entre extratores (Resina Aniônica - RA, Resina mista - RM e Mehlich-1 - M1) dentro de cada fonte, para as médias dos tempos de contato, solos e doses de P

Fonte de P	Variável	RA	RM
Gafsa	RM	0,6002**	
	M1	0,4022*	0,9103**
Araxá	RM	0,7682**	
	M1	0,7316**	0,9324**
Supertriplo	RM	0,9761**	
	M1	0,9467**	0,9485**

*, ** - significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

Pode-se considerar, para essas condições da não interferência do P-Ca sobre o comportamento do M1, que o efeito do desgaste é menos marcante que o efeito P-Ca, imaginando-se ser o desvio para o valor máximo do coeficiente de correlação (1,0), neste caso, o efeito desgaste, desconsiderando-se o erro experimental e este mantendo-se constante.

Ao desconsiderar o efeito fonte de P, observou-se que as correlações não significativas anteriormente observadas entre M1 e RA tornaram-se significativas (Quadros 10 e 11).

Como já discutido, para as condições em que os fosfatos naturais (Gafsa e Araxá) foram utilizados, o M1 aproxima-se mais (maiores valores dos coeficientes de correlação com significância em nível mais elevado) da RM do que da RA. Portanto, pode-se deduzir que a RM é, também, sensível ao P-Ca, o que não parece ocorrer com a RA, como teoricamente esperado.

CONCLUSÕES

1. Observou-se que a Resina aniônica extraiu teores de P menores nos três solos, quando as fontes de P foram os fosfatos de Gafsa e de Araxá, ao passo que a Resina Mista aproximou-se dos valores obtidos pelo extrator Mehlich-1, de modo particular nos solos LV e LVA; para o Supertriplo, as Resinas extraíram mais P que o Mehlich-1, de modo particular nos solos LV e LVA, mais argilosos, devido ao desgaste a que este extrator é submetido.
2. O extrator Mehlich-1 mostrou-se sensível a ambos os fosfatos naturais, com teores mais elevados de P extraído que aqueles obtidos pelas Resinas, de modo particular, pela Resina Aniônica.
3. Verificou-se, de modo geral, redução no teor de P no solo pelos três extratores, com o aumento do tempo de contato das fontes de P com o solo. Considerando-se as três fontes de P, essas reduções dos teores foram mais pronunciadas quando se utilizou o Superfosfato triplo, com o fosfato de Gafsa (reativo) em posição intermediária e o fosfato de Araxá (não-reativo), o menos sensível ao efeito do tempo de contato.

LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; NILTON CURI, N. & RESENDE, A.V. Extraction methods for phosphorus and their relationship with soils phosphorus-buffer capacity estimated by the remaining-phosphorus methodology - A pot study with maize. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 39:603-615, 2008.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo*, 25:27-32, 2000.

AMER, F.; BOULDIN, C.A.; BLACK, C.A.Q. & DUCKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin absorption and ^{32}P equilibration. *Plant Soil*, 6: 391-407, 1955.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolo do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 7: 221-226, 1983.

BORTOLON, L. & GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 2751-2756, 2008.

BORTOLON, L. & GIANELLO, C. Phosphorus availability to maize determined by several methods on Rio Grande do Sul (Brazil) soils. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM PHOSPHORUS DYNAMICS IN SOIL-PLANT CONTINUUM*, 3., Uberlândia, 2006. Anais. Uberlândia, Embrapa, 2006. p.49-52.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; WELTER, S.; ALMEIDA, R.G.O. & GIASSON, E. Simultaneous extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils and potassium recommendations for crops in Southern Brazil. *Pedosphere*, 21: 365-372, 2011.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.

CAMPELLO, M.R.; NOVAIS, R.F.; FERNANDEZ, I.E.R.; FONTES, M.P.F. & BARROS, N.F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características. R. Bras. Ci. Solo, 18:157-165, 1994.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; SOUZA, S.K.S.; FREIRE, F.J. & SILVA, G.B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and p uptake by corn. Sci. Agric., 62:159-164, 2005.

FARIAS, D.R.; OLIVEIRA, F.H.O.; SANTOS, D.; ARRUDA, J.A.; HOFFMANN, R.B. & NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. I - Disponibilidade de fósforo para plantas de milho. R. Bras. Ci. Solo, 33:633-646, 2009.

FERNÁNDEZ R., I.E.J.; NOVAIS, R.F.; NUNES, F.N. & KER, J.C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II - Extrações sucessivas do fósforo pela Resina de troca aniônica. R. Bras. Ci. Solo, 32:2319-2330, 2008.

FERNÁNDEZ, J.Q.P.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & MORAES, E.J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. For. Ecol. Manage., 127:93-102, 2000.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. & SANTOS, D.R. Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina trocadora de ânions. R. Bras. Ci. Solo, 29:363-371, 2005.

GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F. & RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 9:107-111, 1985.

HABIB, L., CHIEN, S.H., MENON, R.G. & CARMONA, G. Modified iron oxide-impregnated paper strip test for soils treated with phosphate fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:972-976, 1998.

IEIRI, A.Y., LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H. & PEREIRA, H.S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com brachiaria. *Ci. Agrotec.*, 34:1154-1160, 2010.

KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.*, 30:159-206, 1978.

LOGANATHAN, P. & FERNANDO, W.T. Phosphorus sorption by some coconut-growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. *J. Sci. Food Agric.*, 31: 709-717, 1980.

LOPES, A.S.; VASCONCELLOS, C.A. & NOVAIS, R.F. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio Janeiro. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.137-200. (Documentos, 21)

MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36: 1519-1527, 2001.

NELSON, W. L.; MEHLICH, A. & WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil test for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H. & NORMAN, A.G., eds. *Soil fertilizer phosphorus*. New York, Academic Press, 1953. p.153-188. (Agronomy 14).

NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soc. Am. J.*, 42: 931-935, 1978.

NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. & MARTINS FILHO, C.A.S. Efeito do tempo de incubação do fosfato-de-Araxá em solos sobre o fósforo disponível. *R. Bras. Ci. Solo*, 4: 153-155, 1980.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p.471-550.

NOVELINO, J.O.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; COSTA, L.M. & BARROS, N.F. Solubilização de Fosfato-de-Araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco Latossolos, na presença e na ausência de calagem. R. Bras. Ci. Solo, 9: 13-22, 1985.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NEVES, J.C.L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and Mehlich-1 extractions among Oxisols with different capacity factors. Commun. Soil Sci. Plant. Anal, 31: 615-630, 2000.

OLSEN, S.R. & KHASAWNEH, E.K. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, E.K.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.361-410.

PAVAN, M.A. & CHAVES, J.C.D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. R. Bras. Ci. Solo, 20:251-256, 1996.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. & SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. Bragantia, 43: 17-29, 1984.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 14: 547-566, 1986.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química de solos para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, APTA/IAC, 2001. p.189-199.

ROBINSON, J.S. & SYERS, J.K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. *J. Soil Sci.*, 41: 597-605, 1990.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 297-300, 2005

SAGGAR, S.; HEDLEY, M.J. & WHITE, R.E. A simplified resin membrane technique for extracting phosphorus from soils. *Fert. Res.*, 24: 173-180, 1990.

SAGGAR, S.; HEDLEY, M.J. & WHITE, R.E. Development and evaluation of an improved soil test for phosphorus: 1. The influence of phosphorus fertilizer solubility and soil properties on the extractability of soil P. *Fert. Res.*, 33: 81-91. 1992a.

SAGGAR, S., HEDLEY, M.J., WHITE, R.E., GREGG, P.E., PERROTT, K.W. & COMFORT, I.S. Development and evaluation of an improved soil test for phosphorus: 2. Comparing of the Olsen and mixed cation-anion exchange resin tests for predicting the yield of ryegrass grown in pots. *Fert. Res.*, 33: 135-144. 1992b.

SANTOS, E.A. & KLIEMANN, H.J. 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. Agroc.*, 14: 299-306, 2008a.

SCHLINDWEIN, J.A. & GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2037-2049, 2008b.

SILVA, F.C. & RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34: 267-288, 1999.

SILVA, W.M.; FABRICIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; KURIHARA, C.H.; MAEDAS, S. & HERNANI, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2277-2285, 1999.

SIMÕES NETO, D.E.; OLIVEIRA, A.C.; ROCHA, A.T.; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.S. & NASCIMENTO, C.W.A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco. *R. Ceres*, 58:802-810, 2011.

SIMÕES NETO, D.E.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. & ROCHA, A.T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 13:840-848, 2009.

SINGH, R.; MOLLER, M.R.F & FERREIRA, W.A. Cinética da sorção de fósforo em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 7: 227- 231, 1983.

SKOGLEY, O. & DOBERMANN, A. Synthetic ion-exchange resins: Soil and environmental studies. *J. Env. Qual.*: 25: 13-24, 1996.

SOUZA JÚNIOR, R.F.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, H.C.; FREIRE, F.J. & ARRUDA, J.A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. R. Bras. Ci. Solo, 36:159-169, 2012.

VIÉGAS, R.A.; NOVAIS, R.F. & SCHULTHAIS, F. Availability of a soluble phosphorus source applied to soil samples with different acidity levels. R. Bras. Ci. Solo, 34:1125-1136, 2010.