



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A.
QUANTIFICAÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL POR EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM
DIFERENTES EXTRATORES EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 4, 2002, pp. 1023-1029

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218306021>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

QUANTIFICAÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL POR EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM DIFERENTES EXTRATORES EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO⁽¹⁾

**L. C. GATIBONI⁽²⁾, J. KAMINSKI⁽³⁾,
D. S. RHEINHEIMER⁽⁴⁾ & A. SAGGIN⁽⁵⁾**

RESUMO

A determinação do fósforo potencialmente disponível por meio dos extratores químicos é dificultada em solos de carga variável, uma vez que existem diversos graus de energia de ligação com os colóides. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o número mínimo de extrações sucessivas necessárias para estimar o fósforo potencialmente disponível, com os métodos de Mehlich-1 e Mehlich-3 e resina de troca aniônica (RTA). Foram realizadas treze extrações sucessivas com os três métodos em amostras de um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema plantio direto com doses crescentes de fósforo. Os resultados mostraram que uma única extração com Mehlich-1, Mehlich-3 ou RTA extrai apenas 29, 35 e 37 % do fósforo potencialmente disponível, respectivamente. Para obter o fator quantidade, foram necessárias sete extrações sucessivas com a RTA e quatro com os métodos Mehlich-1 e 3. O método da RTA foi mais eficiente no diagnóstico dos teores de fósforo nos tratamentos com baixa disponibilidade, enquanto os métodos Mehlich-1 e 3 foram mais eficazes naqueles com alta disponibilidade de fósforo.

Termos de indexação: Mehlich-1, Mehlich-3, resina trocadora de ânions, dessorção, plantio direto.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq/PRONEX e FAPERGS. Recebido para publicação em dezembro de 2001 e aprovado em julho de 2002.

⁽²⁾ Doutorando no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Campus Universitário, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: gatiboni@uol.com.br

⁽³⁾ Professor colaborador do Departamento de Solos, UFSM e Professor do Centro Universitário Franciscano. Campus Universitário, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: kaminski@ccr.ufsm.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM. E-mail: danilo@ccr.ufsm.br

⁽⁵⁾ Mestrando em Agronomia no Programa de Pós-Graduação, UFSM. E-mail: asaggini@bol.com.br

SUMMARY: QUANTIFICATION OF AVAILABLE PHOSPHORUS BY SUCCESSIVE EXTRACTIONS WITH DIFFERENT METHODS IN A RHODIC HAPLUDOX

The determination of potentially available phosphorus by chemical extractors is difficult in variable charge soils because there are several degrees of bound energy between phosphorus and colloids. The objective of this work was to estimate the minimum number of successive extractions with the Mehlich-1, Mehlich-3 and anion exchange resin (AER) methods to obtain values of potentially available phosphorus. Thirteen successive extractions were accomplished with Mehlich-1, Mehlich-3 and AER methods in samples of a Rhodic Hapludox under a no-tillage system and increasing phosphorus doses. Results showed that one single extraction with Mehlich-1, Mehlich-3 and AER extracts only 29, 35 and 37 % of the potentially available phosphorus, respectively. To obtain the quantity factor, seven successive extractions with AER and four with Mehlich-1 and Mehlich-3 were necessary. The AER method was more efficient to extract phosphorus in treatments with low contents while the Mehlich-1 and Mehlich-3 methods were more efficient in treatments with high phosphorus availability.

Index terms: Mehlich-1, Mehlich-3, anion exchange resin, desorption, no-tillage.

INTRODUÇÃO

O modelo de disponibilização de nutrientes para as plantas considera dois compartimentos interligados, a solução do solo, que constitui o fator intensidade (I), e a fase sólida, que armazena os nutrientes que abastecem a solução, por isso denominado fator quantidade (Q). A cinética de como o primeiro compartimento é abastecido pelo segundo, chamado de fator capacidade (C), representa o poder-tampão, ou a taxa de recomposição do I pelo Q, a qual é controlada pela energia de ligação do nutriente em Q e pela difusividade para I. No caso do fosfato, quanto maior o valor de Q, menor a energia de ligação desse nutriente com os colóides inorgânicos, uma vez que 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 prever a necessidade de suplementação do nutriente. A eficiência desses métodos depende da forma físico-química em que o nutriente está inserido em Q e do acesso do extrator a essa forma.

A quantificação do fósforo disponível pode ser feita por um grande número de extratores, indicando que há controvérsia quanto ao método que prediz satisfatoriamente a disponibilidade de fósforo às plantas (Silva & Raij, 1999). Isso se deve ao fato de que o fósforo acumulado no solo encontra-se em diferentes formas (Tiessen et al., 1992; Araújo et al., 1993a; Beck & Sanches, 1994; Daroub et al., 2000), determinadas pela composição do solo e pela interação físico-química com seus componentes e, por consequência, a cinética de dessorção do fósforo é dependente dessas interações com os colóides (Hedley et al., 1982; Araújo et al., 1993b; Beck & Sanches, 1994; Guo & Yost, 1998; Guo et al., 2000).

Os métodos de extração do fósforo do solo quantificam parcialmente as frações dessorvíveis, mas não identificam as formas de fósforo que podem contribuir para sua biodisponibilidade. A subestimação do fósforo potencialmente disponível é mais pronunciada nos solos altamente intemperizados, uma vez que variados níveis de energia de interação com os colóides inorgânicos comprometem a capacidade de predição de alguns métodos. Por isso, o uso de extratores com maior poder de extração, ou de extrações sucessivas com um mesmo método, pode melhorar a estimativa do fator quantidade do solo (Campello et al., 1994; McKean & Warren, 1996; Rheinheimer et al., 2000).

Campello et al. (1994) realizaram até quinze extrações sucessivas com RTA em uma mesma amostra de solo e observaram que uma única extração com RTA subestimou em até 60 % o fósforo disponível do solo (fator Q), sendo necessárias de cinco a doze extrações sucessivas para dessorver o fósforo lábil. Da mesma forma, Rheinheimer et al. (2000), utilizando dez extrações sucessivas com RTA, estimaram a subestimação em 63 % e McKean & Warren (1996) realizaram de duas a seis extrações sucessivas com RTA para estimar o fósforo lábil nativo do solo.

Os laboratórios de análise de solo do Brasil utilizam, com mais frequência, os métodos que usam os extratores Mehlich-1 e resina trocadora de ânions (Silva & Raij, 1999). No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação de adubação fosfatada preconizada pela Comissão de Fertilidade do Solo (CFS-RS/SC, 1994) é baseada no teor obtido pelo extrator Mehlich-1, ajustado ao teor de argila do solo. Esse extrator é uma mistura diluída dos ácidos, clorídrico e sulfúrico, e a extração do fósforo ocorre

pela dissolução de compostos solúveis em meio ácido. O método apresenta alguns problemas, como os baixos teores extraíveis em solos argilosos, pela exaustão do extrator e readsorção do fosfato aos colóides (Cajuste & Kussow, 1974; Bahia Filho et al., 1983) e superestimação do fósforo disponível em solos fertilizados com fosfatos naturais (Kaminski & Peruzzo, 1997).

Por essas razões, podem ser encontradas baixas correlações entre teor de P no solo e o absorvido pelas plantas (Anghinoni & Wolkweiss, 1984; Kroth, 1998). Mehlich (1984) propôs o extrator Mehlich-3 para melhorar a predição do fósforo disponível e extrair simultaneamente outros nutrientes. Ele é constituído de uma mistura de reagentes que promoveriam a dissolução parcial de alguns minerais, as trocas de ânions e a complexação de elementos, evitando a interferência de outros elementos e readsorção do fósforo. No entanto, apesar dessas modificações, o método continuou apresentando baixas correlações com o fósforo absorvido pelas plantas, quando usado em solos do Rio Grande do Sul (Kroth, 1998).

O método da resina trocadora de ânions promove a remoção contínua do P da solução do solo, mantendo um desequilíbrio de concentração entre a solução e a fase sólida do solo, forçando a dessorção do fósforo (Skogley & Dobermann, 1996). Silva & Raij (1999) consideram adequado o uso da RTA para estimar a capacidade de suprimento, pois o processo de extração assemelha-se à ação das raízes das plantas e não ocorreria exaustão em solos com alto teor de argila.

Este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA em quantificar o fósforo potencialmente disponível para as plantas em Latossolo Vermelho distroférrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizaram-se amostras de solo coletadas num experimento sob sistema plantio direto instalado no Centro de Atividades Agrícolas e Florestais da Cooperativa Triticola de Santo Ângelo, em Santo Ângelo (RS) (28°18'14" S; 54°15'52" W). O experimento foi instalado em 1994 sobre um Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 1999), no delineamento blocos ao acaso, cujos tratamentos constam de doses anuais de fósforo (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅) aplicadas unicamente nas culturas de inverno. O solo utilizado em cada tratamento foi coletado, em uma das repetições, na profundidade de 0-10 cm e, no momento da coleta do solo, as doses acumuladas de P₂O₅ nos seis anos do experimento eram 0, 180, 360, 540, e 720 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Após a coleta, o solo foi seco ao ar, moído, tamisado em peneira de malha 2 mm e acondicionado em sacos

de polietileno. A análise do solo no momento da coleta seguiu os métodos descritos em Tedesco et al. (1995) e apresentou 640 g kg⁻¹ de argila; 18 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH-H₂O 4,8; índice SMP 5,7; 2,41 cmol_c kg⁻¹ de cálcio trocável; 1,10 cmol_c kg⁻¹ de magnésio trocável; 0,85 cmol_c kg⁻¹ de alumínio trocável e 310 mg kg⁻¹ de potássio disponível.

O trabalho, realizado no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), constou de extrações sucessivas do fósforo do solo com os métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA até que os teores dessorvidos se tornassem constantes, sendo para isso necessárias treze extrações sucessivas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (cinco doses de P e três métodos de extração) e quatro repetições de laboratório.

A extração de fósforo pelos métodos Mehlich-1 e 3 foi feita conforme Mehlich (1953, 1984). As extrações com RTA foram realizadas segundo método adotado por Kroth (1998), descrito a seguir: 0,5 g de solo foi acondicionado em tubos com tampa rosca (110 x 18 mm) e adicionados 10 mL de água destilada e uma lâmina de RTA de 2,5 cm² (AR 103 QDP 434 Ionics Inc.) saturada por bicarbonato. As amostras foram agitadas, por 16 horas, em agitador tipo "end-over-end" (33 rpm) a 25 °C. As lâminas de RTA foram então retiradas e eluídas em 15 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹, sendo o fósforo determinado pelo método de Murphy & Riley (1962).

Não houve intervalo de descanso da amostra de solo entre uma extração sucessiva e outra, pois, geralmente, não são observadas diferenças na dessorção de fósforo entre diferentes tempos de repouso das amostras (Campello et al., 1996; Rheinheimer et al., 2000).

Nas amostras que receberam 0 e 720 kg ha⁻¹ de P₂O₅, após seis extrações sucessivas, foram efetuadas análises da cinética de troca isotópica com ³²P, segundo método descrito por Fardeau & Jappe (1976).

As curvas de dessorção acumulada foram ajustadas pela equação $x = \beta - (\beta - \alpha) e^{-kt}$, proposta por McKean & Warren (1996), sendo x o teor dessorvido; β a dessorção máxima; α a dessorção na primeira extração; k é taxa de dessorção constante e t , o tempo de extração. O modelo utilizado na análise da variância foi "Y = dose método dose*método", enquanto os parâmetros da equação foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 foram muito semelhantes quanto à quantidade de fósforo extraída, porém a repetibilidade do primeiro, medida

pelo desvio-padrão, foi menor que a do segundo (Figura 1). Esses métodos extraíram maior teor de fósforo potencialmente disponível do que a RTA, embora os teores dessorvidos na primeira extração tenham sido maiores com a RTA, discriminando melhor o status de fósforo do solo nas menores doses aplicadas (0, 180 e 360 kg ha⁻¹ P₂O₅) (Figura 1). Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a quantificação do fósforo disponível pelo método Mehlich-1 em solos argilosos (> 55 % argila) e com baixos teores extraíveis é complicada. Para contornar esse problema, a Comissão de Fertilidade do Solo (CFS-RS/SC, 2001) propôs alterações nas faixas de disponibilidade, eliminando a classe limitante ($\leq 1,0$ mg kg⁻¹) e incorporando-a na classe muito baixa (até 2,0 mg kg⁻¹), evitando, assim, que a ocorrência de pequenos erros amostrais ou analíticos provocassem o enquadramento do solo em outra classe de disponibilidade, o que acarretaria distorções da recomendação de adubação fosfatada.

Nas extrações sucessivas com RTA, observou-se que os teores de fósforo decresceram rapidamente, chegando próximo de zero já na quarta extração para as menores doses (Figura 1). Já nos extratores Mehlich-1 e 3, os teores extraídos baixaram até um patamar próximo de 5 mg kg⁻¹ e se mantiveram

assim até à décima terceira extração. O teor extraído a partir desse patamar foi atribuído à degradação dos colóides do solo, considerando o caráter ácido das soluções extratoras.

A hipótese de destruição dos sítios de adsorção de fósforo no solo após extrações com Mehlich-1 e Mehlich-3 foi confirmada com a análise da cinética de troca isotópica com ³²P (Quadro 1), na qual, após um minuto da adição de ³²P, a quantidade remanescente deste na solução do solo foi diferente entre os métodos. Com a dessorção do fósforo por seis extrações sucessivas com RTA, o solo ficou mais sortivo (sítios de adsorção foram desocupados), pois o percentual de ³²P na solução após um minuto de sua adição, medido pelo parâmetro R1/R0*100, baixou de 3,3 e 4,1 %, no solo original, para 2,1 e 3,3 %, após as extrações sucessivas nas doses de 0 e 720 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Contrariamente, após as extrações sucessivas com Mehlich-1 e Mehlich-3, o solo ficou menos ávido por fósforo: o R1/R0*100 aumentou de 3,3 e 4,1 % para 4,5 e 4,4 %, no Mehlich-1, e de 3,3 e 4,1 % para 7,1 e 8,5 %, no Mehlich-3, para as doses de 0 e 720 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Isso indica que os sítios de adsorção foram destruídos pelas soluções extratoras.

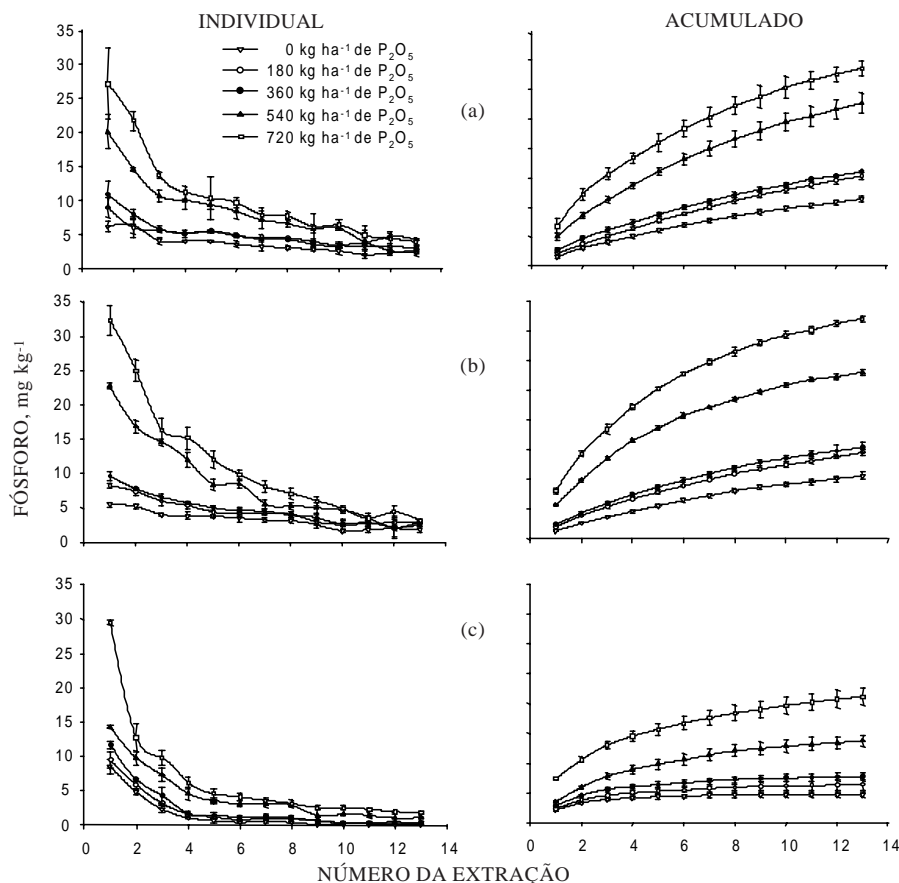


Figura 1. Dessorção de fósforo de um Latossolo Vermelho distroférrico típico com doses de fósforo adicionado, submetido a extrações sucessivas com Mehlich-1 (a), Mehlich-3 (b) e RTA (c).

Esse comportamento foi mais pronunciado para o extrator Mehlich-3 possivelmente porque, além da destruição dos sítios de adsorção, houve o preenchimento de alguns deles pelos ânions da solução extratora, como o fluoreto e o acetato. Os valores de fósforo isotopicamente trocável em um minuto ($E_{1\text{min}}$) mostraram que, após seis extrações sucessivas com Mehlich-1 e Mehlich-3, restou menos fósforo trocável, enquanto para RTA esse ainda não foi totalmente extraído (Quadro 1).

Isto reforça a agressividade dos métodos destrutivos e infere que, após algumas extrações

sucessivas, o fósforo dessorvido pode ser proveniente de minerais e não só da dessorção do fósforo especificamente retido na superfície dos colóides.

Os teores de fósforo dessorvidos na primeira extração (α) com RTA mostram que, para a testemunha sem aplicação de adubos fosfatados, os teores dessorvidos foram maiores quando comparados aos obtidos com os métodos Mehlich-1 e Mehlich-3 (Quadro 2). Por outro lado, a dessorção máxima de fósforo (β) das extrações sucessivas com RTA foi menor do que das de Mehlich-1 e 3, o que pode ser atribuído à extração de formas de fósforo

Quadro 1. Parâmetros obtidos pela análise do fósforo isotopicamente trocável nas amostras de solo que receberam 0 e 720 kg ha⁻¹ P₂O₅, antes e depois de seis extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 ou RTA

Dose de fósforo	Tratamento	R1/R0 *100 ⁽¹⁾	E _{1 min.} ⁽²⁾
kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅		%	mg kg ⁻¹
0	Solo original	3,3	5,58
	Após seis extrações com Mehlich-1	4,5	1,50
	Após seis extrações com Mehlich-3	7,1	0,92
	Após seis extrações com RTA	2,1	4,15
720	Solo original	4,1	7,07
	Após seis extrações com Mehlich-1	4,4	2,11
	Após seis extrações com Mehlich-3	8,5	1,20
	Após seis extrações com RTA	3,3	3,66

⁽¹⁾ Percentual de radioatividade na solução do solo após um minuto da adição de ³²P (R1), em relação à quantidade adicionada (R0).

⁽²⁾ Fósforo isotopicamente trocável após um minuto da adição de ³²P.

Quadro 2. Teor de fósforo dessorvido na primeira extração (α), dessorção máxima de fósforo (β) e taxa de dessorção constante (k) de um solo com doses crescentes de fósforo adicionado submetido a treze extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 ou RTA

Método de extração	Dose de fósforo aplicada (kg ha ⁻¹)					C.V. (%)
	0	180	360	540	720	
			α , mg kg ⁻¹			
Mehlich-1	6,13 bC ⁽¹⁾	8,88 aC	10,83 aC	20,03 aB	27,08 aA	19,41
Mehlich-3	5,46 bD	8,26 aC	9,68 aC	22,76 aB	32,35 aA	6,54
RTA	8,53 aD	9,46 aD	11,70 aC	14,26 bB	29,51 aA	5,19
C.V. (%)	13,26	12,00	11,41	7,75	11,02	-
			β , mg kg ⁻¹			
Mehlich-1	72,24 aC	98,40 aBC	83,19 aB	121,33 aA	137,73 aA	7,76
Mehlich-3	71,44 aC	76,49 bC	75,95 aC	113,75 aB	147,23 aA	5,99
RTA	18,78 bD	25,04 cCD	30,12 bC	54,51 bB	80,12 bA	9,29
C.V. (%)	13,26	6,29	10,92	6,69	4,38	-
			K, mg kg ⁻¹ dia ⁻¹			
Mehlich-1	0,0773 bCD	0,0740 bD	0,1178 bC	0,1775 cB	0,2348 cA	4,56
Mehlich-3	0,0688 bD	0,1080 bC	0,1293 bC	0,2618 bB	0,2953 bA	6,97
RTA	0,6413 aA	0,4415 aB	0,5008 aB	0,3085 aC	0,4233 aBC	12,24
C.V. (%)	19,64	12,91	19,43	5,66	5,93	-

⁽¹⁾ Letras iguais, maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

não-biodisponíveis. Adicionalmente, houve maior diferenciação na dessorção máxima entre as doses de fósforo aplicadas quando do uso de RTA, enquanto, para Mehlich-1 e Mehlich-3, não ocorreu diferenciação clara nas menores doses de fósforo.

As taxas de dessorção constante (k) para os métodos Mehlich-1 e Mehlich-3 (Quadro 2) mostram que esses métodos foram mais eficientes na extração de fósforo nos tratamentos com maiores doses de adubos fosfatados, como também observado por Kaminski & Xavier (1974), Titterton & Kaminski (1976) e Rein (1991). Já, nas extrações sucessivas com RTA, as maiores taxas de dessorção constante foram observadas nos tratamentos com baixos teores de fósforo, mostrando que a RTA teve maior capacidade de extração em solos com baixa disponibilidade.

Pressupondo ser o fator quantidade representado satisfatoriamente pelo valor de dessorção máxima (β) obtido pela RTA, ao calcular o percentual médio dessorvido na primeira extração (α), observa-se que uma única extração com Mehlich-1, Mehlich-3 ou RTA subestimou, em média, o fator quantidade em 65, 65 e 63 %, respectivamente, valores similares aos obtidos por Campello et al. (1994) e Rheinheimer et al. (2000). Para atingir o valor de 95 % da dessorção máxima por RTA, o qual pode ser uma estimativa razoável do fósforo potencialmente disponível, foram necessárias sete extrações sucessivas com RTA e quatro extrações sucessivas com Mehlich-1 e Mehlich-3.

CONCLUSÕES

1. Uma única extração com Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA extraiu apenas 29, 35 e 37 % do fósforo potencialmente disponível, respectivamente.

2. Para extrair o fósforo potencialmente disponível, foram necessárias sete extrações sucessivas com RTA e quatro com os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3.

3. O método da RTA foi mais eficiente no diagnóstico dos teores de fósforo nos tratamentos com baixa disponibilidade, enquanto os métodos de Mehlich-1 e Mehlich-3 foram mais eficazes naqueles com alta disponibilidade de fósforo.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ignácio Hernan Salcedo, pela possibilidade de utilização das instalações do DEN-UFPE para realização das análises com ^{32}P ; aos alunos Gustavo Brunetto, João Paulo Cassol Flores e Delson Horn, do curso de Agronomia da UFSM, pela ajuda nas análises laboratoriais.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & VOLKWEISS, S.J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1984. p.179-204.
- ARAUJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. intensidade e formas de acumulação. R. Bras. Ci. Solo, 17:389-396, 1993a.
- ARAUJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. II. formas disponíveis e efeito residual do P acumulado. R. Bras. Ci. Solo, 17:397-403, 1993b.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 7:243-249, 1983.
- BECK, M.A. & SANCHES, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. Soil Sci, 34:1424-1431, 1994.
- CAJUSTE, L.J. & KUSSOW, W.R. Use and limitations of the North Carolina method to predict available phosphorus in some Oxisols. Trop. Agric., 51:246-252, 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.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS-RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. 224p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS-RS/SC. Alterações nas recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. 4p. (Circular Técnica, 2)
- DAROUB, S.H.; PIERCE, F.J. & ELLIS, B.G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:170-176, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- FARDEAU, J.C. & JAPPE, J. Nouvelle méthode de détermination du phosphore assimilable par les plantes: extrapolation des cinétiques de dilution isotopique. CR Ac. Sci., 282:1137-1140, 1976.
- GUO, F. & YOST, R.S. Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. Soil Sci., 163:822-833, 1998.
- GUO, F.; YOST, R.S.; HUE, N.V.; EVENSEN, C.I. & SILVA, J.A. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1681-1689, 2000.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:970-976, 1982.

- KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)
- KAMINSKI, J. & XAVIER, F.M. Recuperação de fósforo em solo arenoso pelo método Carolina do Norte. R. Centro Ci. Rurais, 4:253-256, 1974.
- KROTH, P.L. Disponibilidade de fósforo no solo para plantas e fatores que afetam a extração por resina de troca em membrana. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 168p. (Tese de Mestrado)
- McKEAN, J. & WARREN, G.P. Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 27:2397-2417, 1996.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4 by North Carolina Soil Testing Laboratoris. Raleigh: University of North Carolina, 1953. Não publicado.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 15:1409-1416, 1984.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chimica Acta., 27:31-36, 1962.
- REIN, T.A. Estimativa do fluxo difusivo de fósforo no solo e avaliação de sua disponibilidade às plantas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 137p. (Tese de Mestrado)
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 24:345-354, 2000.
- SILVA, F.C. & RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesq. Agropec. Bras., 34:267-288, 1999.
- SKOGLEY, O. & DOBERMANN, A. Synthetic ion-exchange resins: Soil and environmental studies. J. Environ. Qual., 25:13-24, 1996.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A, BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, planta e outros materiais, 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. Agric. Ecos. Environ., 38:139-151, 1992.
- TITTERRINGTON, J.M. & KAMINSKI, J. Comparação de métodos de extração de fósforo em alguns solos do Rio Grande do Sul. R. Centro Ci. Rurais, 6:203-209, 1976.

