

# FRAÇÕES DE FÓSFORO APÓS EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA E INCUBAÇÃO, EM LATOSSOLOS E LUVISSOLOS DO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO<sup>(1)</sup>

M. S. B. ARAÚJO<sup>(2)</sup>, C. E. G. R. SCHAEFER<sup>(3)</sup> & E. V. S. B. SAMPAIO<sup>(4)</sup>

## RESUMO

A reposição do P mais lábil pelas frações menos lábeis do solo foi avaliada após dez extrações sucessivas com resina e incubação, durante quatro meses, em amostras dos horizontes A, BA e Bw de Latossolos e A e Bt de Luvisolos, coletadas do terço superior, médio e inferior de três toposseqüências de cada classe, fazendo-se um fracionamento seqüencial de P antes das extrações sucessivas e depois da incubação. O fracionamento foi feito com resina, NaHCO<sub>3</sub> (fração orgânica e inorgânica), NaOH (fração orgânica e inorgânica), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e uma digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Não houve diferenças significativas entre posições na encosta. As dez extrações sucessivas retiraram duas a cinco vezes mais P que a primeira extração nos Latossolos e duas a nove vezes nos Luvisolos. As últimas extrações mostraram estabilidade em torno de 1 mg kg<sup>-1</sup> em todos os solos e horizontes. Após a incubação, o P-resina recuperou 20-30 % do seu valor inicial nos horizontes A (1,8 e 3,3 mg kg<sup>-1</sup>) e 50-90 % nos subsuperficiais (1,1 e 1,2 mg kg<sup>-1</sup>), para Latossolos e Luvisolos, respectivamente. As demais frações também se alteraram, mais nos Luvisolos e nos horizontes superficiais. Entretanto, as frações mais estáveis permaneceram com maiores teores. As frações com maiores decréscimos foram P-NaOH, nos Latossolos, e P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, seguido de P-NaOH, nos Luvisolos, indicando serem elas as principais frações no processo de reposição do P disponível, nestes solos de semi-árido.

**Termos de indexação:** toposseqüência, horizontes, Hedley, P-residual.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado, defendida pela primeira autora no Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em outubro de 2002 e aprovado em janeiro de 2004.

<sup>(2)</sup> Engenheira Química do Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av. Prof. Luiz Freire 1000, CEP 50740-540 Recife (PE). E-mail: socorro@mpd.ufpe.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: carlosschaefer@solos.ufv.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Energia Nuclear, UFPE.

**SUMMARY:** *PHOSPHORUS FRACTIONS AFTER SUCCESSIVE RESIN EXTRACTIONS AND INCUBATION IN SEMI-ARID SOILS OF PERNAMBUCO STATE, BRAZIL*

*The replenishment of labile phosphorus (P) from less labile soil P fractions was evaluated after 10 successive resin extractions and incubation during four months. Soil samples from the A, B and Bw horizons of Latosols (Oxisols) and A and Bt horizons of Luvisols were collected from the upper, middle, and lower position in the landscape of three toposequences of each soil class. The evaluation was based on sequential fractionation of soil P with resin, NaHCO<sub>3</sub> (organic and inorganic fractions), NaOH (organic and inorganic fractions), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and by a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digestion, performed before the successive extractions and after incubation. There were no significant differences in P contents in a comparison of the slope positions. The 10 successive resin extractions removed 2 to 5 times more P than the first extraction in the Latosols and 2 to 9 times more in the Luvisols. The last extractions stabilized around 1 mg kg<sup>-1</sup> in all horizons of both soil classes. After incubating soil samples, resin P recovered 20-30 % of its initial P value in the A horizons (1.8 and 3.3 mg kg<sup>-1</sup>) and 50-90 % in the subsuperficial layers (1.1 and 1.2 mg kg<sup>-1</sup>) of the Latosols and Luvisols, respectively. Changes occurred in all other fractions, being greater in the Luvisols and A horizons, although most of the P remained in the less labile P forms. The most depleted fractions were NaOH-P in the Latosols and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-P, followed by NaOH-P in the Luvisols, suggesting that they were the most important in replenishing labile P in these semi-arid soils.*

*Index terms: toposequence, horizons, bicarbonate-P, hydroxide-P, acid-P, residual-P.*

## INTRODUÇÃO

No semi-árido brasileiro, a economia é basicamente dependente de sistemas agrícolas tradicionais, praticados de forma itinerante, com corte e queima da vegetação existente e, em geral, sem adubação. Após poucos anos de cultivo, as terras são abandonadas em razão da grande queda da produção (Tiessen et al., 1992). A irregularidade das chuvas nesta região e nenhuma aplicação de fertilizante resultam em produtividade muito baixa comparada com a do resto do Brasil, para a maioria dos alimentos básicos (IBGE, 1995).

Os solos do semi-árido apresentam, em geral, baixos teores de P disponível (Sampaio et al., 1995), um nutriente limitante à produção. Como a adubação fosfatada é economicamente inviável para a região, tornam-se, então, necessárias alternativas de manejo que aproveitem eficientemente o P nativo do solo. O conhecimento da capacidade do solo de repor o P disponível às plantas seria um dos fatores que ajudariam a definir melhor esses manejos. Praticamente, não existem estudos detalhados sobre a dessorção de P em solos do semi-árido nordestino, talvez como consequência da falta de uso de fertilizantes.

Os testes rotineiros de análise de solo são normalmente utilizados não só para monitorar o estado do P no solo em relação à sua disponibilidade às plantas, mas também para definir requerimentos de fertilizantes para crescimento ótimo das culturas. No entanto, a determinação do P disponível em dado momento é uma medida estática e pode não refletir

a real capacidade do solo de suprir as plantas. Isto vale tanto para áreas que nunca receberam fertilização quanto para aquelas que já foram fertilizadas. Em ambos os casos, poderia haver uma subestimativa da capacidade do solo de fornecer fosfato. Por isso, seria de grande utilidade ter-se um método de laboratório que permitisse estimar a dessorção de fosfato do solo com o tempo.

Os métodos utilizados para determinação do P disponível incluem extratores químicos (EMBRAPA, 1997), tiras de papel impregnadas com óxido de Fe (Van der Zee, 1987) e resinas trocadoras de íons (Sibbsen, 1977). Eles removem apenas uma fração do P disponível, mas esta fração deve estar bem correlacionada com a resposta da planta. Para estimar a real capacidade do solo em fornecer fosfato, seria preciso exaurir o P extraível do solo, em determinado intervalo de tempo, utilizando várias extrações sucessivas. Extrações sucessivas têm sido um método adequado para caracterizar a capacidade de suprimento e investigar a cinética de dessorção de P do solo (McKean & Warren, 1996; Indiaty, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Dominguez et al., 2001). Como a resina trocadora de íons perturba menos a estrutura química do solo do que os extratores químicos, ela pode ser mais adequadamente utilizada em extrações sucessivas.

Outra questão pouco investigada refere-se a reservatórios de P no solo que têm a capacidade de suprir o P mais lábil. Essa informação seria de utilidade na medida em que, conhecendo o tamanho desses reservatórios, poder-se-ia estimar a capacidade-tampão de P do solo. Um método que

tem sido bastante utilizado para medir esses reservatórios, de acordo com o grau de disponibilidade às plantas, é o fracionamento seqüencial de Hedley et al. (1982).

Este método determina várias frações de P no solo com um grau decrescente de disponibilidade às plantas: formas de P extraídas por resina e bicarbonato de sódio são consideradas as frações mais lábeis; em seguida, vêm as extraídas por hidróxido de sódio, que são frações moderadamente lábeis, incluindo P associado a óxidos de Al e Fe; depois, as extraídas por ácido estão ligadas à apatita e outros fosfatos de Ca menos reativos; finalmente, o P determinado por uma digestão peróxido/sulfúrica representa o fosfato mais recalcitrante, que não pôde ser extraído nas frações anteriores (Hedley et al., 1982; Tiessen et al., 1984; Wagar et al., 1986).

As frações de P consideradas mais disponíveis têm apresentado para solos, em geral, boa correlação com o P absorvido pelas culturas. Além disso, o método permite medir as frações orgânicas, podendo, por isso, ser usado para acompanhar também transformações de P causadas por processos biológicos no solo. Alguns trabalhos no semi-árido nordestino utilizaram este método para determinar P no solo (Tiessen et al., 1992; Agbenin & Tiessen, 1994), mas, em geral, informações mais detalhadas de P para esta região são bastante escassas, principalmente em sistemas naturais.

A topografia influencia o movimento e as transformações de nutrientes no solo (Honeycutt, 1986; Klemmedson & Wienhold, 1991). Ao longo de uma toposseqüência, em geral, a posição inferior acumula material erodido, enriquecido em nutrientes, em relação às posições mais altas. Em regiões semi-áridas, essa posição também apresenta maior umidade, permitindo maior produção de biomassa vegetal e maior acúmulo de matéria orgânica no solo (Udo, 1977; Udo & Ogunwale, 1977). Essas diferenças ao longo da encosta, em relação ao acúmulo de material e disponibilidade de água, influenciam as transformações de P no solo (Barrow, 1974; Olsen & Court, 1982; Bramley & Barrow, 1992). Em grandes partes do semi-árido nordestino, ocorre relevo ondulado, sendo o uso do solo diferenciado ao longo das toposseqüências. Nos sopés e vales, a agricultura é semi permanente, enquanto, nas encostas, predomina a agricultura itinerante, com seu ciclo de derrubada, queima, cultivo e pousio.

Os objetivos deste trabalho foram: (a) quantificar a dessorção do P nativo do solo de acordo com o tempo, utilizando dez extrações sucessivas com membranas de resina trocadoras de íons; (b) determinar o efeito da remoção do P extraível do solo sobre as frações de P menos disponíveis, medindo as frações de P pelo fracionamento seqüencial, e (c) comparar os resultados obtidos em diferentes posições na encosta (terço superior, médio e inferior).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do solo

Amostras de solo foram retiradas dos horizontes A, BA e Bw1 de três toposseqüências de Latossolos, em Ouricuri (em torno de 7° 49' S e 40° 10' W) e dos horizontes A e Bt de três toposseqüências de Luvisolos, em Parnamirim (em torno de 8° 05' S e 39° 35' W), Pernambuco. Cada toposseqüência era constituída de perfis localizados no terço superior, médio e inferior das encostas, resultando num total de nove perfis de Latossolos e nove de Luvisolos. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 0,149 mm e, em subamostras, foram determinadas características físicas e químicas (Quadro 1).

Em subamostras, foi medido o P pelo método do fracionamento seqüencial, por Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997) e por dez extrações sucessivas com tiras de resina trocadora de íons (tiras de 1 x 7 cm, ANION 204UZRA). Após as extrações sucessivas, as amostras de solo foram incubadas, durante quatro meses, e novamente extraídas pelo método do fracionamento seqüencial. Todas as determinações foram feitas em duplicata.

### Extrações sucessivas com resina

As extrações por resina foram feitas em tubos de centrífuga que continham uma proporção solo:água de 2 g:120 mL e quatro tiras de resina, agitando-se durante 16 h. As quatro tiras de resina foram retiradas dos tubos, extraídas com 120 mL de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, e o P foi determinado numa alíquota deste extrato, pelo método colorimétrico de Murphy & Riley (1962).

### Incubação

As suspensões solo-água, remanescentes das extrações sucessivas, foram centrifugadas (G = 4193), durante 30 min, e os solos secos ao ar, depois umedecidos a 80 % da sua capacidade de campo (Kumar et al., 2002) e incubados, em sacos plásticos fechados, durante quatro meses, em casa de vegetação. A cada 15 dias, a umidade era restabelecida ao nível inicial da incubação. Após a incubação, as amostras foram secas ao ar e analisadas pelo método do fracionamento seqüencial de P.

### Fracionamento de fósforo - antes das extrações sucessivas com resina e depois da incubação

As frações de P em subamostras de solo foram extraídas seqüencialmente usando o método de Hedley modificado (Figura 1). Este método separa o P do solo em quatro frações inorgânicas, duas orgânicas e uma fração residual. Subamostras de 0,5 g de solo, em duplicata, foram pesadas em tubos de 50 mL de capacidade, adicionando-se 30 mL da

**Quadro 1. Características químicas e físicas de amostras de horizontes do terço superior, médio e inferior de três topossequências de amostras de Latossolos e de Luvisolos**

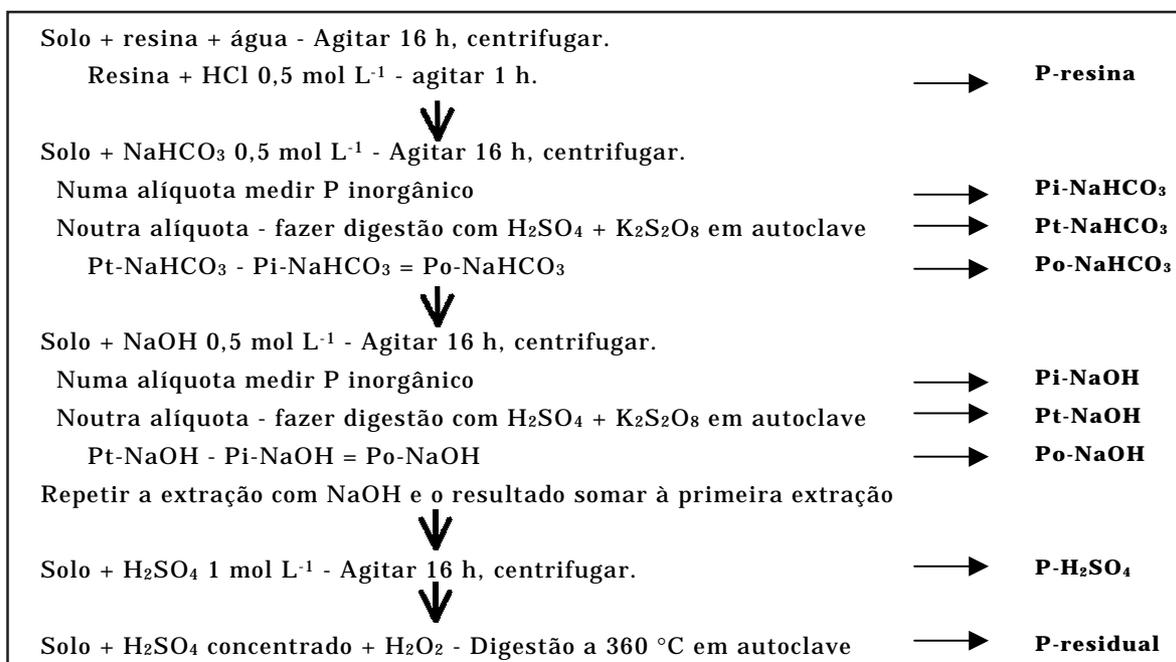
Horiz.	E.H.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H	Al <sup>3+</sup>	CEC	Ca/Mg	V	C org	Fe <sub>ox</sub>	Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Argila	Silte	A. F.	A. G.	D.A.	
	cm		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>									%	g kg <sup>-1</sup>			%					g cm <sup>-3</sup>
<b>Latossolos</b>																					
Terço superior																					
A	16	6,0 a	2,0 a	0,3 a	0,08 a	0,5 a	0,4 a	0,10 a	3,4 a	6,5 a	85 a	0,8 a	0,02 a	13,8 a	1,0 a	15,2 a	18,2 a	30,8 a	35,9 a	1,5 a	
AB	23	6,0 a	0,9 b	0,2 b	0,06 ab	0,3 ab	0,4 a	0,13 a	2,0 b	6,0 ab	74 ab	0,3 ab	0,14 a	13,6 a	1,0 a	18,3 a	15,9 a	29,2 a	36,7 a	1,5 a	
Bw	43	5,7 a	0,7 b	0,2 b	0,05 ab	0,2 b	0,4 a	0,14 a	1,6 b	4,2 ab	69 b	0,2 bc	0,03 a	15,6 a	1,1 a	23,9 a	13,9 a	30,3 a	31,9 a	1,5 a	
Terço médio																					
A	12	5,9 a	4,7 a	0,3 a	0,05 a	0,4 a	0,4 a	0,12 b	5,9 a	17,5 a	92 a	0,9 a	0,03 a	10,4 a	1,0 a	21,5 a	19,9 a	25,4 a	33,2 a	1,5 a	
AB	28	5,7 a	2,0 a	0,1 a	0,06 a	0,3 ab	0,5 a	0,27 ab	3,3 a	17,2 a	77 a	0,3 b	0,08 a	8,2 a	0,8 a	22,5 a	12,3 a	32,0 a	33,2 a	1,5 a	
Bw	30	5,3 a	4,7 a	0,1 a	0,03 a	0,2 bc	0,5 a	0,40 a	5,9 a	35,3 a	85 a	0,3 b	0,07 a	11,7 a	1,2 a	26,2 a	16,9 a	29,2 a	27,7 a	1,5 a	
Terço inferior																					
A	12	6,0 a	2,3 a	0,3 a	0,06 a	0,5 a	0,4 a	0,10 a	3,6 a	8,4 a	86 a	1,0 a	0,04 a	11,0 a	1,0 a	19,5 c	15,9 a	31,4 a	33,2 a	1,5 a	
AB	21	5,8 a	1,7 a	0,3 a	0,06 a	0,4 ab	0,5 a	0,22 a	3,1 a	6,6 ab	77 a	0,5 b	0,10 a	10,1 a	1,0 a	28,8 b	11,7 a	27,1 b	32,3 a	1,5 a	
Bw	37	5,9 a	1,7 a	0,4 a	0,05 a	0,3 bc	0,4 a	0,13 a	2,9 a	4,7 bc	83 a	0,3 bc	0,07 a	11,5 a	1,2 a	32,9 ab	13,3 a	23,3 b	30,5 ab	1,5 a	
<b>Luvisolos</b>																					
Terço superior																					
A	8	6,4 b	8,7 a	1,7 a	0,1 a	0,75 a	0,5 a	0,06 a	11,7 a	5,5 a	95 a	1,4 a	0,08 a	11,8 a	0,7 a	9,7 a	30,4 a	30,5 a	29,4 a	1,4 a	
Bt	31	6,8 a	12,5 a	2,8 a	0,2 a	0,08 b	0,5 a	0,10 a	16,2 a	4,5 a	96 a	0,5 b	0,02 a	12,1 a	0,7 a	19,6 a	31,3 a	25,9 b	23,3 a	1,3 a	
Terço médio																					
A	8	6,4 a	13,0 a	2,2 a	0,1 a	0,61 a	0,5 a	0,06 a	16,5 a	5,8 a	96 a	1,6 a	0,00 a	12,8 ab	0,8 a	13,0 b	31,0 a	26,7 a	29,3 a	1,3 a	
Bt	28	6,8 a	12,8 a	4,1 a	0,2 a	0,08 b	0,5 a	0,09 a	17,8 a	3,1 a	97 a	0,5 b	0,02 a	14,3 a	0,9 a	22,7 a	25,4 b	24,9 a	26,9 a	1,2 a	
Terço inferior																					
A	8	6,4 a	12,4 a	2,0 a	0,1 a	0,73 a	0,6 a	0,08 a	16,0 a	6,1 a	96 a	2,5 a	0,01 a	12,6 a	0,5 a	11,4 a	26,6 a	26,9 a	35,0 a	1,3 a	
Bt	16	6,5 a	13,3 a	3,7 a	0,1 a	0,16 b	0,5 a	0,08 a	17,8 a	3,7 a	97 a	0,8 b	0,00 a	13,8 a	0,9 a	19,3 a	24,3 a	24,0 a	32,4 a	1,3 a	

(Horiz., horizontes; E.H. Espessura dos horizontes; V, saturação por bases; C org., carbono orgânico; Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub>, Fe e Al extraível por ditionito-citrato-bicarbonato; Fe<sub>ox</sub>, Fe extraível por oxalato; A.G., areia grossa; A.F., areia fina; D.A., densidade aparente). Valores na mesma coluna, para uma mesma posição na encosta, seguidos de letras minúsculas diferentes, diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %. Não houve diferenças entre posições na encosta.

solução extratora e agitando-se durante 16 h. As frações de P inorgânico foram determinadas sequencialmente, na seguinte ordem: (1) Pi-resina, extraída com 30 mL de água deionizada e uma tira de resina (1 x 7 cm, ANION 204UZRA); (2) Pi-NaHCO<sub>3</sub>, extraída com 30 mL de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5; (3) Pi-NaOH, extraída com 30 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, e (4) Pi-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, extraída com 30 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>. Nos extratos de NaHCO<sub>3</sub> e do NaOH, ainda foi determinado o P orgânico, da seguinte forma: numa outra alíquota, foi feita uma digestão do extrato, adicionando-se 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 24 mol L<sup>-1</sup> e 0,2 g de K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> e autoclavando-se durante 1 h a 127 °C, determinando-se P inorgânico + P orgânico. O P orgânico foi calculado por diferença entre a concentração de P inorgânico + P orgânico e

P inorgânico, em cada extrato. As frações orgânicas foram denominadas Po-NaHCO<sub>3</sub> e Po-NaOH. No solo remanescente, após todas as extrações, foi feita uma digestão H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a 360 °C, determinando-se a fração P-residual. Todas as medidas de P foram feitas pelo método colorimétrico de Murphy & Riley (1962), após o ajuste do pH, usando p-nitrophenol como indicador. O P total foi calculado como a soma de todas as frações determinadas.

Mudanças nas frações de P foram calculadas como a diferença entre as concentrações nas frações após e depois da incubação. Calculadas as mudanças desta forma, decréscimos na fração, com a incubação, são valores negativos e acréscimos são valores positivos. Mudanças totais em P foram calculadas como o somatório das mudanças em todas as frações.



**Figura 1. Esquema do fracionamento seqüencial de fósforo (Pi = P inorgânico; Po = P orgânico; Pt = P total), modificado de Hedley et al. (1982).**

### Análises estatísticas

As concentrações de P extraído por resina e P extraído por Mehlich-1 foram submetidas a um teste de T, pareado, a 5 %, comparando-se separadamente os valores em cada horizonte e em cada posição na encosta. Os valores de cada característica química e física dos solos, de cada fração inicial de P e de cada fração de P obtida pela diferença entre as frações após as extrações sucessivas e as frações iniciais de P do solo, foram submetidos a um teste de T não pareado, a 5 %, comparando, separadamente, os horizontes dois a dois, dentro de cada posição na encosta, e comparando, separadamente, duas a duas, as posições na encosta. As três toposeqüências foram consideradas como repetições. O pacote estatístico utilizado foi o Statistica (Statsoft, 1995).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações iniciais de P extraídas por resina (P resina do fracionamento seqüencial antes das extrações sucessivas) não diferiram significativamente das extraídas pelo método de Mehlich-1, com exceção de alguns poucos casos, e foram similares ao longo da encosta, em cada uma das duas classes de solo (Quadro 2). Na maioria dos casos, os dois métodos extraíram quantidades apenas um pouco abaixo das que foram absorvidas por plantas de capim-braquiária cultivadas, durante quatro meses, em casa de vegetação, com os mesmos solos (Araújo et al., 2003).

O P extraído pelas dez extrações sucessivas com resina foi de duas a cinco vezes maior que o P extraído por resina uma única vez, nos Latossolos, e de duas a nove vezes nos Luvisolos (Quadro 2). Isto indica que o solo tem uma capacidade de fornecimento de P bem maior que a medida por uma única extração, seja ela feita por resina, seja pelo método de Mehlich-1.

A taxa de liberação do P extraível nem sempre foi constante ao longo das dez extrações (Figura 2). Os maiores teores foram obtidos logo na primeira das dez extrações sucessivas, principalmente nos horizontes A, nas duas classes de solo. Neste horizonte e primeira extração, mais P foi extraído nos Luvisolos que nos Latossolos. Os primeiros são menos intemperizados e, portanto, têm menores teores de compostos fixadores de P do que os Latossolos. O fato de os horizontes A terem mais P disponível que os horizontes mais profundos deve ser atribuído à biociclagem, ou seja, à acumulação de P absorvido pelas raízes das camadas mais profundas e depositado na superfície do solo com a deposição da parte aérea das plantas. Já a partir da terceira extração nos Latossolos e da quinta nos Luvisolos, os teores obtidos foram comparáveis entre horizontes, evidenciando ser a taxa de liberação do P acumulado por biociclagem (P dos horizontes superficiais) maior quando comparada à do P acumulado por processos geoquímicos nos horizontes subsuperficiais. A partir da quarta extração, nos Latossolos, e da sexta, nos Luvisolos, os teores chegaram a um limite de extração equivalente para todos os horizontes e similar até à décima extração. Este limite também foi similar

**Quadro 2. Valores médios de fósforo inicial extraído por resina (P-resina 1), por Melihch-1 (P-Mehlich), P absorvido por plantas (P-planta) e P determinado por dez extrações sucessivas com resina (P-resina 10), em toposequências de solos do semi-árido de Pernambuco**

Latossolo				Luvissolo			
Horizonte	P-Resina 1	P-Mehlich	P-Resina 10	Horizonte	P-Resina 1	P-Mehlich	P-Resina 10
mg kg <sup>-1</sup>							
Terço superior							
A	7,9 a	6,7 a	13,1	A	14,3 a	13,5 a	30,2
AB	1,8 a	0,8 a	6,0	Bt	2,2 a	1,5 a	9,1
Bw	1,4 a	0,7 a	7,0				
Terço médio							
A	10,3 a	12,2 a	20,5	A	16,7 a	19,0 a	44,5
AB	1,6 a	0,7 b	5,9	Bt	1,2 a	1,0 a	11,2
Bw	1,6 a	0,8 b	7,0				
Terço inferior							
A	6,9 a	5,8 a	11,8	A	14,5 b	21,2 a	43,9
AB	1,9 a	1,6 a	7,3	Bt	1,7 a	3,2 a	13,2
Bw	1,6 a	1,0 b	7,1				

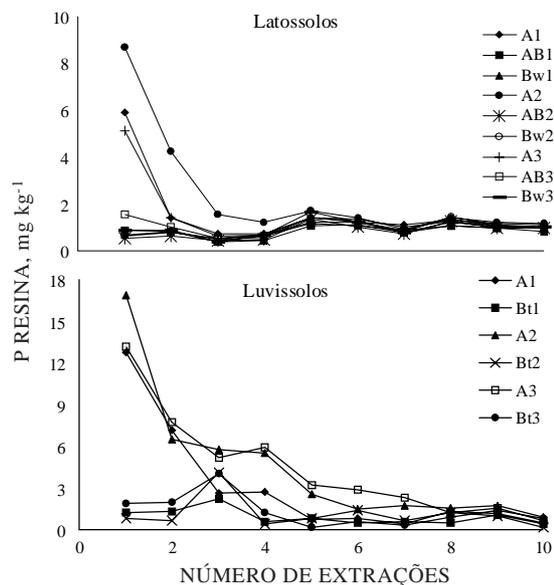
Para uma mesma classe de solo, valores na mesma linha, seguidos de letras minúsculas diferentes, diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %. Não houve diferenças entre posições na encosta.

entre classes de solos, em torno de 1 mg kg<sup>-1</sup> nos Latossolos e até esse valor nos Luvissolos, apesar de tais classes de solo diferirem nas suas propriedades químicas e, possivelmente, nas suas capacidades de adsorção de P. A observação desse comportamento da dessorção de P no solo não seria possível com uma única extração de P lábil, como normalmente é feito nos testes de rotina em laboratórios de análises de solos.

O valor de 1 mg kg<sup>-1</sup> correspondente ao valor de P nas últimas das dez extrações sucessivas com resina pode ser extrapolado para a quantidade de P por hectare, considerando a profundidade dos horizontes e suas respectivas densidades. Calculada a quantidade de P por hectare em cada horizonte, foi feito um somatório desses valores para representar a quantidade de P no perfil estudado. Apesar de baixo, esse valor corresponde, no perfil, em média, a 11,1 kg ha<sup>-1</sup>, nos Latossolos, e a 4,3 kg ha<sup>-1</sup>, nos Luvissolos. O menor valor deste último solo resulta da sua menor profundidade. Em ambos os solos, estas quantidades seriam suficientes para repor o P retirado pelas culturas de milho, feijão e algodão (1 a 5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), tradicionais do semi-árido nordestino, considerando as produtividades médias obtidas na região (Sampaio et al., 1995).

Na maioria dos anos, quando a deficiência hídrica limita as produções, estas quantidades seriam superiores às retiradas pelas culturas e, por isso, as culturas não responderiam à adubação. Esta deve ser uma das razões de tal prática não ser usual na região. Em anos de boa disponibilidade hídrica, quando as produtividades são maiores que as

médias, o suprimento de P pode ser o fator limitante, o que explicaria as respostas positivas à adubação fosfatada encontradas, nestes anos, em cultivos experimentais (Rao & Morgado, 1984).



**Figura 2. Curvas de dessorção do fósforo após dez extrações sucessivas com membranas de resina trocadora de íons, em amostras de horizontes de perfis de três toposequências de Latossolos (A1, AB1, Bw1; A2, AB2, Bw2; A3, AB3, Bw3) e três de Luvissolos (A1, Bt1; A2, Bt2; A3, Bt3), do semi-árido de Pernambuco.**

O fracionamento seqüencial inicial de P do solo (Quadro 3) mostrou que o P estava distribuído principalmente nas frações: residual (P-residual) e hidróxido (Pi- e Po-NaOH) nos dois solos, apesar de serem consideradas classes de solo com diferentes graus de intemperismo, o que implicaria diferentes proporções das várias formas de P no solo (Walker & Syers, 1976; Smeck, 1973, 1985). Para distribuição tem sido encontrada na maioria dos solos, que apresenta como principais frações acumuladoras de P no solo a fração residual e a fração hidróxido, quer tenham sido fertilizados ou não (Udo, 1977; Tiessen et al., 1984; Ball-Coelho et al., 1993; Araújo et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Araújo & Salcedo, 1997; Araújo et al., 2003). Após as extrações sucessivas com resina e a incubação, todas as frações mudaram seus teores de P (Quadro 4), mas a distribuição permaneceu semelhante à do início, ou seja, maiores teores nas frações menos lábeis (Quadros 3 e 4). Em geral, as mudanças nas diversas frações de P foram maiores no horizonte superficial, com algumas exceções, e não apresentaram diferenças significativas

em relação à posição na encosta (Quadro 4). O somatório das mudanças ocorridas em todas as frações extraídas de P resultou, em termos absolutos, em maiores decréscimos nos Luvisolos do que nos Latossolos, e no horizonte superficial que nos subsuperficiais, provavelmente por existir um teor de P lábil mais alto naquela classe e horizonte. Apenas algumas poucas frações apresentaram acréscimos de P: P-NaHCO<sub>3</sub> (orgânico e inorgânico), nos horizontes A e AB nos Latossolos; Po-NaHCO<sub>3</sub> e Pi-NaOH no horizonte superficial nos Luvisolos; e P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> no horizonte Bt, nos Luvisolos (Quadro 4).

Nas duas classes de solo, a fração que atingiu maior decréscimo, em termos absolutos, foi P-NaOH (inorgânico + orgânico). Também foi esta fração que mais diminuiu quando tais solos foram cultivados, em casa de vegetação (Araújo et al., 2003). Trabalhos com outros solos, todos de áreas úmidas, também registraram os maiores decréscimos, em termos absolutos, nesta fração (Ball-Coelho et al., 1993;

**Quadro 3. Teores médios iniciais das frações de fósforo determinadas em amostras de perfis de toposeqüências de duas classes de solo do semi-árido de Pernambuco**

Horizonte	P-Resina	Pi-NaHCO <sub>3</sub>	Po-NaHCO <sub>3</sub>	Pi-NaOH	Po-NaOH	P-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P-Residual	P-total
mg kg <sup>-1</sup>								
<b>Latossolo</b>								
Terço superior								
A	7,9 a	7,2 a	6,5 a	47,5 a	57,8 a	40,2 a	224,3 a	391,4 a
AB	1,8 b	3,6 a	4,1 a	30,7 a	41,9 a	29,3 a	202,5 a	313,9 a
Bw	1,4 b	2,5 a	4,3 a	32,0 a	23,6 b	24,4 a	207,4 a	295,4 a
Terço médio								
A	10,3 a	7,7 a	5,5 a	37,1 a	60,4 a	32,1 a	109,0 a	262,1 a
AB	1,6 a	2,1 a	5,2 a	19,2 b	52,5 a	17,5 b	108,5 a	206,5 a
Bw	1,6 a	4,4 a	3,5 a	24,9 ab	37,2 b	23,7 ab	128,3 a	223,6 a
Terço inferior								
A	6,9 a	7,9 a	5,9 a	45,2 a	77,8 a	32,1 a	128,1 a	303,8 a
AB	1,9 a	3,8 b	6,4 a	32,4 a	70,4 a	27,6 a	141,5 a	283,9 a
Bw	1,6 a	4,5 b	4,1 a	34,6 a	36,7 a	26,0 a	161,1 a	268,7 a
<b>Luvisolo</b>								
Terço superior								
A	14,3 a	10,8 a	9,2 a	38,2 a	69,8 a	58,5 a	145,7 a	346,5 a
Bt	2,2 a	4,0 a	7,2 a	14,0 a	31,7 a	24,8 a	144,6 a	228,3 a
Terço médio								
A	16,7 a	10,9 a	10,5 a	35,6 a	60,0 a	68,9 a	129,6 a	332,3 a
Bt	1,2 b	4,9 a	5,5 a	16,6 a	40,0 b	18,3 a	134,2 a	220,8 a
Terço inferior								
A	14,5 a	10,0 a	12,8 a	37,8 a	82,6 a	80,3 a	147,4 a	385,3 a
Bt	1,7 b	3,5 a	7,8 a	16,4 a	46,8 b	40,0 a	139,0 a	255,2 a

Teste de T não pareado; i – inorgânico; o – orgânico. Valores na mesma coluna, para uma mesma posição na encosta, seguidos de letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %. Não houve diferenças entre posições na encosta.

**Quadro 4. Diferenças nas frações de fósforo do solo e suas proporções (entre parênteses) em relação ao P inicial, após dez extrações sucessivas com resina e quatro meses de incubação, em toposequências de solos do semi-árido de Pernambuco. Valores negativos significam decréscimos e positivos, acréscimos**

Horizonte	P-resina	Pi-NaHCO <sub>3</sub>	Po-NaHCO <sub>3</sub>	Pi-NaOH	Po-NaOH	P-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P-residual	P-Total	P-recup.
mg kg <sup>-1</sup> (%)									
<b>Latossolo</b>									
Terço superior									
A	-6,4 (81) a	+1,1 (15) ab	+1,2 (18) a	-3,0 (6) a	-10,9 (19) a	-5,4 (14) a	-4,0 (2) a	-20,7 (7) a	19
AB	-0,7 (41) b	+0,1 (3) b	+1,1 (27) a	+0,2 (1) aB	-12,9 (31) a	-0,1 (0) a	-6,2 (3) a	-18,5 (6) a	59
Bw	-0,3 (18) b	+1,6 (66) aB	-1,3 (31) a	-0,9 (3) a	-9,6 (41) a	+1,6 (7) a	-4,5 (2) a	-13,3 (5) a	82
Terço superior									
A	-8,6 (83) a	-1,2 (15) a	+4,0 (73) a	-5,6 (15) a	-10,0 (17) a	-7,7 (24) a	-2,1 (2) a	-31,1 (12) a	17
AB	-0,6 (37) a	+1,0 (46) a	-0,6 (12) b	+0,6 (3) bB	-13,0 (25) a	-0,5 (3) b	-4,5 (4) a	-17,9 (9) a	63
Bw	-0,4 (27) a	-0,8 (19) aA	+0,8 (24) ab	-0,4 (1) ab	-11,7 (31) a	-1,2 (3) ab	-6,8 (5) a	-20,4 (9) a	73
Terço superior									
A	-4,8 (70) a	-0,2 (3) a	+4,4 (75) a	-7,9 (17) a	-10,9 (14) a	-5,8 (18) a	-6,5 (5) a	-31,7 (10) a	30
AB	-0,9 (45) a	+1,0 (25) a	+0,8 (12) ab	-4,6 (14) aA	-16,8 (24) a	-5,1 (18) a	-5,0 (4) a	-30,5 (11) a	55
Bw	-0,4 (28) a	+0,9 (19) aBA	-0,2 (4) b	-3,5 (10) a	-11,3 (31) a	-4,0 (15) a	-4,1 (3) a	-22,6 (8) a	72
<b>Luvissolo</b>									
Terço superior									
A	-11,6 (81) a	-2,4 (22) a	+1,2 (13) a	+3,8 (10) a	-13,1 (19) a	-13,9 (24) a	-2,3 (2) a	-45,8 (13) a	19
Bt	-1,0 (45) a	-1,4 (34) a	-0,8 (11) a	+1,9 (13) a	-11,6 (37) a	+7,7 (31) a	-3,7 (3) a	-9,0 (4) a	55
Terço médio									
A	-13,5 (81) a	-2,9 (27) a	+1,4 (13) a	+4,4 (12) a	-15,3 (25) a	-15,4 (22) a	-3,6 (3) a	-40,2 (12) a	19
Bt	-0,1 (7) b	-2,0 (41) a	+0,2 (4) a	+3,2 (19) a	-15,1 (38) a	+5,8 (32) a	-2,5 (2) a	-11,4 (5) a	93
Terço inferior									
A	-10,5 (72) a	-1,6 (16) a	+1,9 (15) a	+4,9 (13) a	-18,0 (22) a	-20,1 (25) a	-5,6 (4) a	-49,1 (13) a	28
Bt	-0,5 (27) a	-0,6 (17) a	+0,9 (12) a	+2,7 (16) a	-13,8 (30) a	+5,8 (14) b	-4,2 (3) a	-4,4 (2) a	73

Teste de T não pareado; i – inorgânico; o – orgânico. Valores na mesma coluna, para uma mesma posição na encosta, seguidos de letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %. Não houve diferenças entre posições na encosta.

Araújo et al., 1993; Beck & Sanchez, 1994; Araújo & Salcedo, 1997; Rheinheimer et al., 2000). Como a fração P-NaOH foi a que mais decresceu, esta deve ter tido uma participação importante no replechimento da fração mais lábil. A participação do P-NaOH no replechimento da fração mais lábil parece ocorrer tanto em áreas secas, caso deste trabalho, quanto em áreas mais úmidas, onde foram feitos os trabalhos acima referidos. Portanto, a fração hidróxido parece ser a principal tamponante das frações mais lábeis.

Atribuindo à fração P-NaOH a reposição de 1 mg kg<sup>-1</sup> de P retirado nas últimas extrações por resina (Figura 2), os valores iniciais de Pi + Po retirados pelo NaOH (Quadro 3) permitiriam que esta reposição fosse feita algumas dezenas de vezes. Assim, os sistemas de cultivo tradicionais, se retirassem teores equivalentes ou inferiores a 1 mg kg<sup>-1</sup>, como foi discutido anteriormente, poderiam prescindir de adubação por algumas décadas, mas não poderiam continuar indefinida-

mente, ficando limitados pelo tamanho do reservatório de reposição da fração lábil.

No sistema itinerante de agricultura, com 10-15 anos de pousio e 3-5 de cultivo (Tiessen et al., 1992), deficiência de P só seria evidente após muitos ciclos de cultivo, equivalentes a várias décadas. A tendência atual de redução da fase de pousio e a adoção cada vez mais freqüente de sistemas de agricultura permanente e semi-permanente levam a um esgotamento mais rápido do P do solo. Neste caso, para que estes sistemas sejam sustentáveis, seria necessário um planejamento de adubação de reposição (10-15 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), numa política de agricultura de baixos insumos.

As reduções em Po-NaOH aumentaram com a profundidade (Quadro 4), talvez porque os horizontes mais profundos possuíam um teor de P inorgânico lábil mais baixo em relação aos superficiais. Devem-se levar em conta também os decréscimos ocorridos na fração P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, em ambos os solos, já que esta é uma fração tradicionalmente

considerada pouco disponível às plantas (Wagar et al., 1986). Esta foi a fração que teve o segundo maior decréscimo, com as dez extrações por resina, com algumas poucas exceções. Isto revela que, em áreas secas, onde os solos são menos intemperizados, a fração P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> também pode contribuir para o tamponamento de formas mais lábeis de P no solo. Portanto, as frações P-NaOH e P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> parecem ter um papel preponderante no processo de manutenção do P disponível, nos solos do semi-árido.

Nas duas classes de solo, a forma orgânica da fração hidróxido apresentou maior decréscimo do que a inorgânica (Quadro 4). Esta última, em alguns casos, aumentou. A incubação pode ter influenciado este resultado, induzindo a mineralização do P orgânico pela população microbiana (Adepu & Corey, 1977). Dependência do P lábil em relação ao P orgânico foi observada por Beck & Sanchez (1994), que encontraram 44 % do P orgânico respondendo pelos aumentos em P-lábil, e por Tiessen et al. (1984), que encontraram, em 29 Ultissolos de diferentes áreas, 80 % da variação de P lábil explicada pelo P orgânico. Embora a disponibilidade de P orgânico do solo seja considerada um fator-chave regulando a produtividade de sistemas naturais e agrícolas (Halstead & McKercher, 1975; Walker & Syers, 1976; Cole & Heil, 1981; Smith, 1992; Crews, 1993; Crews et al., 1995), poucos estudos medem a mineralização de P orgânico porque é difícil de medir independentemente da sorção (Walbridge & Vitousek, 1987; Zou et al., 1995).

### Recuperação de P-resina

Após os quatro meses de incubação, o P extraído por resina (uma extração) atingiu, em média, 1,8 mg kg<sup>-1</sup> no horizonte A e 1,1 mg kg<sup>-1</sup> no BA e Bw1, para os Latossolos e 3,3 e 1,2 mg kg<sup>-1</sup> no A e Bt, para os Luvisolos. Considerando que, nas extrações sucessivas, as últimas extrações foram em torno de 1 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2), é possível que uma 11ª extração retirasse também esse mesmo teor. Ela não difere muito do que foi extraído após os quatro meses de incubação dos dois solos, exceto para o horizonte A dos Luvisolos. Nesse caso, o período de incubação teve pouco efeito na liberação do P mais lábil. Entretanto, os teores de P resina obtidos após incubação representam cerca de 20-30 % dos teores obtidos inicialmente (Quadro 3), no horizonte A, e entre 50-90 % nos horizontes subsuperficiais, nas duas classes de solos. Os percentuais mais altos nos horizontes B podem ser interpretados como uma maior capacidade de recuperação, mas é preciso ter em mente que os valores absolutos foram menores nestes horizontes que nos horizontes superficiais, podendo pequenos teores representar proporções altas.

Os teores de P que retornam ao reservatório de P-resina (valores de P-resina após extração sucessiva e incubação), durante o pouco tempo em que o solo

ficou incubado, comparado ao tempo em que o solo normalmente fica em pousio, no campo (Tiessen et al., 1992), apontam para um bom potencial de recuperação de P nestes solos, isto é, que o P retorne aos seus teores iniciais, sem exigir um longo tempo de pousio.

### CONCLUSÕES

1. Uma única extração de P por resina pode não representar adequadamente, em longo prazo, a capacidade do solo no suprimento de P para as plantas, nesses solos. Os Luvisolos tiveram um P-resina inicial maior que os Latossolos, quase o dobro, mas, durante as extrações sucessivas, foi-se tornando similar, indicando que, ao longo do tempo, os solos mostram um potencial de liberação de P similar.

2. Embora a taxa de liberação de P tenha decrescido com as sucessivas extrações, o reservatório de P resina foi repleto rapidamente, tendo sido as frações P-NaOH e P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as mais importantes no processo nos solos de semi-árido. As posições na encosta não influenciaram a distribuição de P no solo em nenhuma das duas áreas estudadas.

### LITERATURA CITADA

- ADEPTU, J.A. & COREY, R.B. Changes in N and P availability and P fractions in two soils from Nigeria under intensive cultivation. *Plant Soil*, 46:309-316, 1977.
- AGBENIN, J.O. & TIESSEN, H. Phosphorus transformations in a toposequence of Lithosols and Cambisols from semi-arid northeastern Brazil. *Geoderma*, 62:345-362, 1994.
- ARAÚJO, 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, 1993.
- ARAÚJO, M.S.B. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na Região Nordeste. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:643-650, 1997.
- ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R. & SAMPAIO, E.V.S.B. Plant phosphorus availability in Latosols and Luvisols from Northeastern semi-arid Brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:407-425, 2003.
- BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I.H. & STEWART, J.W.B. Short and long-term phosphorus dynamics in a fertilized Ultisol under sugarcane. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1027-1034, 1993.
- BARROW, N.J. The slow reactions between soil and anions. 1. Effects of time, temperature and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. *Soil Sci.*, 118:380-386, 1974.
- BECK, M.A. & SANCHEZ, A.P. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a typical Paleudult. *Soil Sci.*, 54:1424-1431, 1994.

- BRAMLEY, R.G.V. & BARROW, N.J. The reaction between phosphate and dry soil. II - The effect of time, temperature and moisture status during incubation on the amount of plant available P. *J. Soil Sci.*, 43:759-766, 1992.
- COLE, C.V. & HEIL, R.D. Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling. In: CLARK, F.E. & ROSSWALL, T., eds. *Terrestrial nitrogen cycles*. *Ecol. Bull.*, 33:363-374, 1981.
- CREWS, T.E. Phosphorus regulation of nitrogen fixation in a traditional Mexican agroecosystem. *Biogeochemistry*, 21:141-166, 1993.
- CREWS, T.E.; KITAYAMA, K.; FOWNES, J.H.; RILEY, R.H.; HERBERT, D.A.; MUELLER-DOMBOIS, D. & VITOUSEK, P.M. Changes in soil phosphorus fractions and ecosystem dynamics across a long chronosequence in Hawaii. *Ecology*, 76:1407-1424, 1995.
- DOMINGUEZ, R.; DEL CAMPILLO, C.; PENA, E. & DELGADO, A. Effect of soil properties and reclamation practices on phosphorus dynamics in reclaimed calcareous marsh soils from the Guadalquivir Valley, SW Spain. *Arid Land Res. Manag.*, 15:203-221, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- HALSTEAD, R.L. & MCKERCHER, R.B. Biogeochemistry and cycling of phosphorus. In: PAUL, E.A. & MCLAREN, A.D., eds, *Soil biochemistry*, New York, Marcel Dekker, 1975. p.31-63.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- HONEYCUTT, C.W. Climate, topography, and cultivation effects on C, N and P dynamics in central Great Plains soils. Fort Collins (Diss. Abst. 86-18180). Colorado State University, 1986.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário de Pernambuco, 1995.
- INDIATI, R. Changes in soil phosphorus extractability with successive removal of soil phosphate by iron oxide-impregnated paper strips. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 29:107-120, 1998.
- KLEMMEDSON, J.O. & WIENHOLD, B.J. Aspect and species influences on nitrogen and phosphorus availability in Arizona Chaparral soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1735-1740, 1991.
- KUMAR, K.; ROSEN C.J. & GUPTA, S.C. Kinetics of nitrogen mineralization in soils amended with sugar beet processing by-products. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 33:3635-3651, 2002.
- MCKEAN, S.J. & WARREN, G.P. Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27:2397-2417, 1996.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27:31-36, 1962.
- OLSEN, R.G. & COURT, M.N. Effect of wetting and drying of soils on phosphate adsorption and resin extraction of soil phosphate. *J. Soil Sci.*, 33:709-717, 1982.
- 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.
- RAO, M.R. & MORGADO, L.B. A review of maize-beans and maize-cowpea intercrop systems in the semiarid Northeast Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:179-192, 1984.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: PEREIRA, J.R. & FARIA, C.M.B., eds. *Fertilizantes: insumos básicos para a agricultura e combate à fome*. Petrolina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p.51-71.
- SIBBSEN, E. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant available elements from soil. *Plant Soil*, 46:665-669, 1977.
- SMECK, N.E. Phosphorus as an indicator of pedogenetic weathering processes. *Soil Sci.*, 115:199-206, 1973.
- SMECK, N.E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma*, 36:185-189, 1985.
- STATSOFT, INC - STATISTICA FOR WINDOWS. Release 5.0. Tulsa, , 1995.
- SMITH, V.H. Effects of nitrogen: phosphorus supply ratios on nitrogen fixation in agricultural and pastoral ecosystems. *Biogeochem.*, 18:1-36, 1992.
- TIESEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38:139-151, 1992.
- TIESEN, H.; STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:853-858, 1984.
- UDO, E.J. Forms and distribution of phosphorus in three Nigerian soil profiles along a toposequence. *Trop. Agric.*, 54:149-156, 1977.
- UDO, E.J. & OGUNWALE, J.A. Phosphorus fractions in selected Nigerian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:1141-1146, 1977.
- van der ZEE, S.E.A.T.M.; FOKKINK, L.G.J. & van RIEMSDICK, W.H. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:599-604, 1987.
- WAGAR, B.J.; STEWART, J.W.B. & MOIR, J.O. Changes with time in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on Chernozemic soils. *Can. J. Soil Sci.*, 66:105-119, 1986.
- WALBRIDGE, M.R. & VITOUSEK, P.M. Phosphorus mineralization potentials in acid organic soils: Process affecting  $^{32}\text{PO}_4^{3-}$  isotope dilution measurements *Soil Biol. Biochem.*, 19:709-717, 1987.
- WALKER, T.W. & SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15:1-19, 1976.
- ZOU, X.; BINKLEY, D. & CALDWELL, B. Phosphorus transformations in soils in N-fixing and non-N-fixing plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1452-1458, 1995.