



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

Silveira, Mailze Maria Lins da; Bezerra Araújo, Maria do Socorro; de Sá Barretto Sampaio, Everardo  
Valadares

Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 30, núm. 2, 2006, pp. 281-291

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214051009>

- 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

# SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

## DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO EM DIFERENTES ORDENS DE SOLO DO SEMI-ÁRIDO DA PARAÍBA E DE PERNAMBUCO<sup>(1)</sup>

Mailze Maria Lins da Silveira<sup>(2)</sup>, Maria do Socorro Bezerra  
Araújo<sup>(3)</sup> & Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio<sup>(4)</sup>

### RESUMO

Os solos do semi-árido nordestino têm sido reconhecidos como deficientes em P. Todavia, a grande diversidade de ordens a que eles pertencem indica que não devem ser semelhantes quanto às concentrações das diferentes formas deste elemento. A concentração de P foi avaliada em 69 amostras de solo das dez ordens mais comuns no semi-árido, nas camadas de 0–20 e 20–40 cm. O P foi extraído pelo Mehlich-1 e por fracionamento seqüencial, por extração com resina,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , e por digestão peróxido/sulfúrica. O P total (somatório das frações) variou de 52 a 1.625  $\text{mg kg}^{-1}$ , estando a maioria dos solos na faixa entre 100 e 200  $\text{mg kg}^{-1}$ , na camada de 0–20 cm, com uma grande variabilidade entre as ordens e dentro delas. Grande variabilidade foi encontrada também para qualquer das frações. De modo geral, Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Luvisolos e Cambissolos tiveram os maiores valores; Argissolos, Neossolos Litólicos e Latossolos, valores intermediários, e Neossolos Regolíticos, Planossolos e Neossolos Quartzarênicos, os mais baixos. O maior reservatório de P, de forma geral, foi o P residual e os menores, as frações mais lábeis (P resina e  $\text{Pi-NaHCO}_3$ ), representando juntas entre 7 e 12 % do P total. Mehlich-1 extraiu baixas proporções de P total dos Vertissolos (1 %) e alta proporção dos Latossolos (24 %), o inverso ocorrendo com a extração com bicarbonato (11 e 5 %, respectivamente). A resina extraiu baixas proporções em todas as ordens (1 a 6 %).

**Termos de indexação:** fracionamento, P lábil, P orgânico, P inorgânico, P residual.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado da primeira autora, apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Recebido para publicação em dezembro de 2003 e aprovado em fevereiro de 2006.

<sup>(2)</sup> Pós-Graduando do Departamento Solos, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. Dom Manuel Medeiros s/n, CEP 52171-900 Recife (PE).

<sup>(3)</sup> Professora do Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av. Luiz Freire 1000, Cidade Universitária, CEP 50740-540 Recife (PE). E-mail: socorro@ufpe.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Energia Nuclear, UFPE. Bolsista do CNPq. E-mail: esampaio@ufpe.br

**SUMMARY:** *PHOSPHORUS DISTRIBUTION IN DIFFERENT SOIL ORDERS IN THE SEMI-ARID STATES OF PARAÍBA AND PERNAMBUCO, BRAZIL*

*Most soils in semi-arid Northeastern Brazil are considered phosphorus deficient. The great diversity of orders they belong to, however, indicates that they are not similar in relation to the concentrations of their different P forms. The distribution of phosphorus forms in 69 soils of the most common soil orders in the semi-arid region was evaluated in samples from the 0–20 and 20–40 cm soil layers. Phosphorus was determined by Mehlich-1 and by a sequential fractionation, through extractions with resin,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , followed by peroxide/sulfuric digestion. Total P (the sum of all fractions) varied from 52 to 1625  $\text{mg kg}^{-1}$ . Most soils were in a range from 100 to 200  $\text{mg kg}^{-1}$  in the 0–20 cm layer, with a large variability between and within soil orders. Large variability was also observed for all P fractions. In general, Fluvisols, Vertisols, Luvisols and Cambisols had the highest total P values; Argisols, Litholic Neosols and Latosols, intermediate values; and Regolic Neosols, Planosols and Quartzarenic Neosols, the lowest values. The largest proportions of total P were in the residual fraction and the smallest in the labile fractions (resin-P and  $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ ), which together represented 7–12 % of total P. Mehlich-1 extracted low proportions of P from Vertisols (1 %) and high proportion from Latosols (24 %), while the opposite was true for bicarbonate extraction (11 and 5 %, respectively). Resin extracted low proportions from all soil orders (1 to 6 %).*

*Index terms:* P fractionation, labile P, organic P, inorganic P, residual P.

## INTRODUÇÃO

O conteúdo total de P e sua partição em diferentes frações inorgânicas e orgânicas no solo são variáveis dependentes do material de origem e de fatores relacionados com a gênese dos solos (Walker, 1964; Smeck, 1973, 1985; Adams & Walker, 1975; Walker & Syers, 1976; Smeck et al., 1994). Diversos trabalhos têm mostrado que, em solos pouco intemperizados, a maior parte do P está em minerais primários e, à medida que o solo se desenvolve, a proporção de P nestes minerais decresce, aumentando a proporção de P ocluído e orgânico (Walker & Syers, 1976; Smeck, 1973, 1985). Entretanto, a maior parte desses trabalhos foi desenvolvida em áreas úmidas e, ou, de clima temperado, não podendo ser extrapolados para áreas tropicais secas. Nestas áreas, principalmente no semi-árido nordestino, estudos sobre a distribuição dos reservatórios inorgânicos e orgânicos de P são raros e abrangem solos de poucos locais (Tiessen et al., 1992; Agbenin & Tiessen, 1994; Araújo et al., 2004a), não permitindo que se agrupem essas informações por ordens de solo.

O semi-árido nordestino, particularmente o semi-árido de Pernambuco e da Paraíba, abrange grande diversidade de ordens de solos, se comparado às áreas úmidas desses Estados e também a outras regiões do País, variando de ordens com solos pouco a muito intemperizados (Embrapa, 1972a,b, 1973). Como consequência, também se espera grande variação na concentração de P nesses solos e nas

formas como este elemento se encontra. A informação mais abrangente sobre P nos solos desses Estados ainda é o levantamento da Embrapa (1972a,b, 1973), determinando P Mehlich-1 e  $\text{P}_2\text{O}_5$  pelo ataque sulfúrico, em alguns dos perfis de solo. Neste levantamento, em geral, P Mehlich-1 apresentou valores abaixo de 10  $\text{mg kg}^{-1}$  em todas as ordens de solo, com poucas exceções, e não apresentou correlação com o P determinado pelo ataque sulfúrico. Alguns trabalhos localizados confirmam esses baixos valores de P Mehlich-1 (Faria & Pereira, 1993; Silva & Chaves, 2001; Oliveira et al., 2003). Entretanto, poucos se referem a solos com valores de P disponível alto (Chaves et al., 1998; Corrêa et al., 2003).

Os poucos trabalhos que determinaram P mais aprofundadamente no semi-árido nordestino (Tiessen et al., 1992; Agbenin & Tiessen, 1994; Araújo et al., 2004a) utilizaram o fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982), permitindo que se avaliassem formas inorgânicas e orgânicas de P no solo. As frações de P extraídas estão associadas a um grau decrescente de disponibilidade às plantas (Hedley et al., 1982; Tiessen et al., 1984; Wagar et al., 1986; Schoenau et al., 1989): Pi-resina e P-bicarbonato de sódio (orgânico e inorgânico) são consideradas as mais lábeis; P-hidróxido de sódio (orgânico e inorgânico) são frações com menor labilidade, incluindo P associado a óxidos de Al e Fe; e P-ácido, uma fração ligada à apatita e outros fosfatos de Ca muito pouco ou não-lábeis. Após as extracções, o resíduo de solo é digerido com uma

mistura peróxido/sulfúrica, determinando-se o P residual, que é a fração mais recalcitrante (Tiessen et al., 1984; Wagar et al., 1986).

Vários trabalhos têm sido realizados no Brasil para comparar diferentes frações de P no solo com o “P-disponível”, determinado por extratores tradicionais (Bahia Filho & Braga, 1975; Bahia Filho et al., 1982; Muniz et al., 1985). As frações de P que têm sido exaustivamente utilizadas nesta comparação são as determinadas pelo método de Chang & Jackson (1957), ao contrário do que ocorre com as frações determinadas pelo método de Hedley (Novais & Smyth, 1999).

Os objetivos deste trabalho foram determinar as concentrações de P nas ordens de solo mais comuns no semi-árido de Pernambuco e da Paraíba, utilizando-se o fracionamento de Hedley et al. (1982) modificado, e comparar os resultados deste fracionamento com o P extraído por Mehlich-1, que é o extrator mais comumente utilizado em solos do Nordeste.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas em 69 locais do semi-árido de Pernambuco e da Paraíba, em vários municípios, dentro de uma área cujos extremos foram: 6° 46' 22" norte e 8° 23' 27" sul; 35° 57' 49" leste e 39° 55' 33" oeste. As altitudes variaram de cerca de 200 a 700 m; as precipitações médias anuais atingiram de 300 a 800 mm, com grande variabilidade entre anos, e as temperaturas mostraram-se menos variáveis, com médias de 25 a 29 °C. Toda a área já foi coberta por caatinga hipó ou hiperxerófila, que tem sido desmatada no sistema de agricultura itinerante e, ou, usada com pastagem nativa. A área era ocupada por solos de várias ordens, com predominância dos Luvisolos, Neossolos Regolíticos, Argissolos e Planossolos e com outras ordens ocupando menores proporções da área (Latossolos, Cambissolos, Vertissolos e Neossolos Quartzarênicos, Litólicos e Flúvicos).

A amostragem feita considerou a classificação vigente na época (Embrapa, 1972a,b). Dentro dela, foram escolhidos solos das classes: Latossolo Vermelho-Amarelo, Areia Quartzosa, Regossolo, Aluvial, Litólico, Bruno Não-Cálcico, Planossolo, Cambissolo, Vertissolo, Podzólico Amarelo e Podzólico Vermelho-Amarelo. Os dois últimos foram considerados como um único grupo, por ocorrerem quase sempre em associação e pela semelhança de suas características. Essas classes de solo são apresentadas de acordo com a nova classificação (Embrapa, 1999), ficando no nível de ordem e, no caso dos Neossolos, subordem.

Dez amostras foram coletadas dos Luvisolos, Neossolos Regolíticos, Argissolos e Planossolos e

números menores das ordens menos representativas, considerando a menor ocorrência dentro da área escolhida: Neossolos Litólicos (sete locais), Neossolos Flúvicos (seis locais), Neossolos Quartzarênicos (seis locais), Latossolos Amarelos (quatro locais), Cambissolos (quatro locais) e Vertissolos (dois locais).

Cada amostra foi coletada de um local distinto, em sítio sem histórico de uso de fertilizantes, com vegetação nativa ou plantadas no sistema de agricultura de subsistência da região (milho, feijão, algodão, mandioca ou palma). Cada amostra foi retirada de um perfil, na camada de 0–20 e 20–40 cm, e foi seca ao ar, destorroada, passada em peneira de malha de 2 mm e analisada quanto às características físicas e químicas (Quadro 1), seguindo método da Embrapa (1997), para pH, e de Snyder & Trofymow (1984), para C.

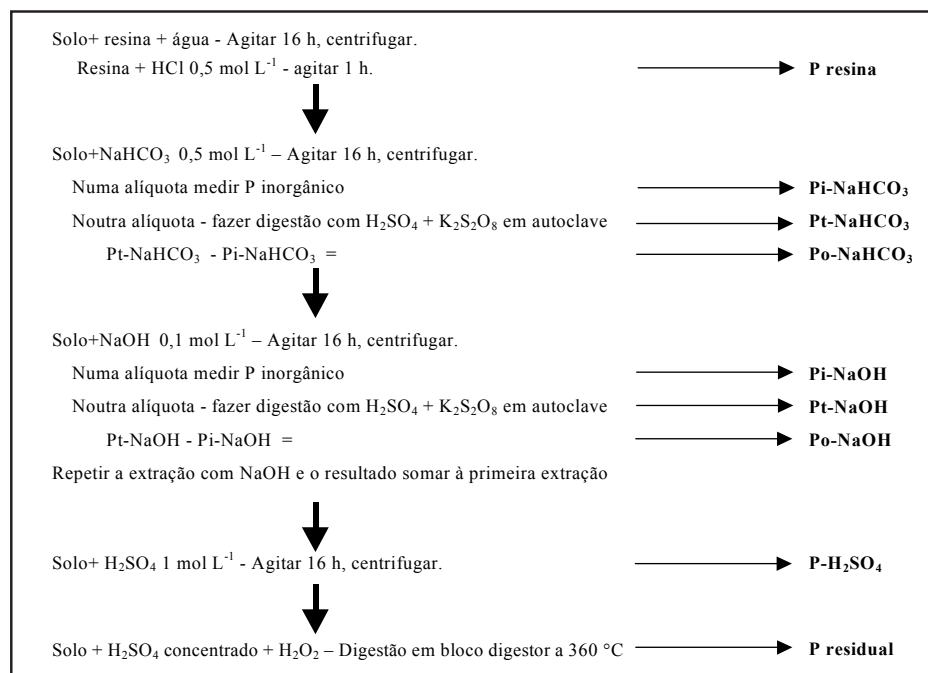
Em subamostras de solo, o P foi extraído pelo Mehlich-1 (0,05 mol L<sup>-1</sup> HCl + 0,0125 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sendo as amostras submetidas ao fracionamento de Hedley et al. (1982). O fracionamento foi utilizado com algumas modificações (Araújo et al., 1993), de acordo com a seguinte descrição: subamostras de cada camada de solo foram passadas em peneira de malha de 0,149 mm. Os extratores utilizados sequencialmente e suas respectivas frações foram (Figura 1): resina trocadora de ânions (Anion 204UZRA), em membranas de 14 cm<sup>2</sup> (P resina); bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, determinando-se P inorgânico e orgânico (Pi- e Po-NaHCO<sub>3</sub>); hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup>, determinando-se P inorgânico e orgânico (Pi- e Po-NaOH), e ácido sulfúrico 1 mol L<sup>-1</sup> (P-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). O resíduo do solo foi submetido a uma digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a 360 °C, determinando-se o P residual. As formas orgânicas de P-bicarbonato e P-hidróxido foram calculadas pela diferença entre as formas inorgânica e total, determinadas em cada extrato. A forma inorgânica foi determinada diretamente numa alíquota do extrato de cada reagente, e a forma total noutra alíquota, após digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 mol L<sup>-1</sup> e K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, em autoclave durante 1 h, a 127 °C. Todas as determinações de P foram feitas usando o método colorimétrico de Murphy & Riley (1962). O P total do solo foi calculado pelo somatório de todas as frações determinadas.

O delineamento adotado foi inteiramente casualizado, com dez tratamentos e repetições, variando de 2 a 10, separadamente, para as camadas de 0–20 e 20–40 cm. Os tratamentos corresponderam às dez ordens de solo, e as repetições, às amostras coletadas em locais variados. O programa utilizado foi o Statistica versão 5.0 (Statsoft, 1995). Para avaliar os dados, foi feita uma análise de variância (ANOVA). A comparação das médias foi feita por meio do teste de Student a 5 %. Uma análise de correlação (Pearson) foi feita entre P Mehlich-1, as diversas frações de P e o P total.

**Quadro 1. Valores médios e seus respectivos desvios-padrão das características físicas e químicas de dez ordens de solos do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco, em duas profundidades**

| Solo               | Areia     | Silte     | Argila    | pH        | C         |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| g kg <sup>-1</sup> |           |           |           |           |           |
| 0–20 cm            |           |           |           |           |           |
| Latossolos         | 779 ± 44  | 70 ± 34   | 151 ± 14  | 5,3 ± 0,4 | 4,8 ± 2   |
| Argissolos         | 727 ± 104 | 130 ± 48  | 163 ± 55  | 5,3 ± 0,4 | 6,2 ± 2   |
| Luvissolos         | 501 ± 100 | 171 ± 40  | 329 ± 109 | 5,6 ± 0,5 | 7,4 ± 3   |
| Planossolos        | 688 ± 72  | 136 ± 34  | 176 ± 50  | 5,6 ± 0,6 | 5,3 ± 3   |
| N. Regolíticos     | 755 ± 57  | 128 ± 40  | 117 ± 37  | 5,2 ± 0,6 | 4,1 ± 2   |
| N. Quartzarênicos  | 883 ± 21  | 23 ± 16   | 93,7 ± 17 | 5,1 ± 0,2 | 2,8 ± 0,7 |
| N. Flúvicos        | 551 ± 264 | 219 ± 134 | 230 ± 139 | 6,2 ± 0,4 | 10,8 ± 9  |
| N. Litólicos       | 522 ± 129 | 226 ± 135 | 252 ± 150 | 5,1 ± 05  | 8,9 ± 6   |
| Cambissolos        | 593 ± 40  | 150 ± 20  | 257 ± 30  | 5,3 ± 06  | 7,0 ± 2   |
| Vertissolos        | 120 ± 99  | 514 ± 240 | 367 ± 340 | 5,9 ± 0,9 | 45,4 ± 7  |
| 20–40 cm           |           |           |           |           |           |
| Latossolos         | 739 ± 16  | 60 ± 30   | 201 ± 16  | 5,3 ± 0,4 | 3,4 ± 1   |
| Argissolos         | 141 ± 906 | 118 ± 45  | 273 ± 119 | 5,1 ± 0,4 | 3,2 ± 0,9 |
| Luvissolos         | 425 ± 99  | 152 ± 32  | 424 ± 102 | 5,8 ± 0,5 | 5,6 ± 2   |
| Planossolos        | 625 ± 122 | 93 ± 38   | 282 ± 111 | 5,4 ± 0,5 | 3,9 ± 2   |
| N. Regolíticos     | 768 ± 39  | 122 ± 33  | 110 ± 14  | 5,1 ± 0,5 | 2,4 ± 1   |
| N. Quartzarênicos  | 870 ± 30  | 23 ± 20   | 106 ± 22  | 5,1 ± 0,3 | 1,6 ± 0,7 |
| N. Flúvicos        | 532 ± 212 | 206 ± 113 | 263 ± 129 | 6,2 ± 0,2 | 6,8 ± 4   |
| N. Litólicos       | 560 ± 144 | 162 ± 45  | 278 ± 119 | 5,1 ± 0,7 | 4,5 ± 2   |
| Cambissolos        | 528 ± 57  | 155 ± 34  | 317 ± 68  | 5,2 ± 0,4 | 6,0 ± 2   |
| Vertissolos        | 170 ± 198 | 496 ± 153 | 335 ± 351 | 6,0 ± 1   | 41,1 ± 10 |

N: Neossolos.

**Figura 1. Esquema do fracionamento sequencial de P de Hedley et al. (1982). modificado.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, os solos amostrados apresentaram-se ácidos, com textura variando de média a arenosa, excetuando os Vertissolos, e com teores de C orgânico relativamente altos (Quadro 1), considerando que foram coletados no semi-árido.

Os 69 solos amostrados nas dez ordens de solo tiveram uma ampla variação de P total, tanto na camada de 0–20 cm (53 a 1.626 mg kg<sup>-1</sup> de solo), quanto na de 20–40 cm (34 a 1.450 mg kg<sup>-1</sup>). Na camada superficial, a maioria deles (36) tinha entre 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup>, com 21 acima desta faixa e 12 abaixo dela; na camada subsuperficial, 29 solos tinham entre 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup>, com sete acima desta faixa e 33 abaixo. Os dados de cada solo não são mostrados, mas a variação pode ser inferida dos valores máximos e mínimos e dos desvios-padrão em torno da média de cada ordem (Quadros 2 e 3).

Em geral, no mesmo solo, os valores da camada de 20–40 cm foram um pouco inferiores aos da camada superficial, como tem sido observado para outros solos (Smeck et al., 1994; Araújo et al., 2004a). No entanto, os padrões para as diferentes ordens foram semelhantes, não só para P total, como também para todas as outras frações de P analisadas e para as proporções do P destas extrações em relação ao P total (Quadro 4). Apenas os valores de P resina foram um pouco mais baixos, e os de P residual, mais altos, para a maioria dos solos, na camada inferior. Isto indica que a análise da camada superficial pode ser suficiente para um bom diagnóstico das disponibilidades de P, dispensando análise de camadas mais profundas. Justifica, também, que o trabalho concentre a discussão nos resultados da camada de 0–20 cm.

Os dados de P total de solos do semi-árido nordestino, abrangendo muitas ordens de solo, são escassos na literatura. Os poucos disponíveis confirmam esta ampla faixa de variação do P total, em horizontes A (Luz et al., 1992 - 924 a 1.100 mg kg<sup>-1</sup>; Tiessen et al., 1992 - 123 a 155 mg kg<sup>-1</sup>; Agbenin & Tiessen, 1994 - 1.460 a 3.090 mg kg<sup>-1</sup>; Araújo et al., 2004a - 260 a 390 mg kg<sup>-1</sup>), também encontrada em outras regiões do Brasil e em outros países (Sharpley et al., 1987 - 56 a 1.434 mg kg<sup>-1</sup>; Tiessen et al., 1984 - 77 a 1.558 mg kg<sup>-1</sup>; Almeida et al., 2003 - 512 a 1.000 mg kg<sup>-1</sup>). A distribuição de valores de acordo com algumas das hierarquias de classificação dos solos (como ordens, por exemplo) é um dado ainda mais raro, não só no Nordeste, mas em todo o Brasil. A relação da classificação com o P do solo tem incluído, em alguns casos, o P dentro do conceito mais amplo de fertilidade, junto com outros nutrientes (Embrapa, 1972a,b; 1973; Oliveira et al., 1992), e, em casos mais específicos, considerado a labilidade de P (Chaves et al., 1998). Este último aspecto tem sido tratado, com mais frequência, em solos de clima temperado (Sharpley et al., 1987; Smeck et al., 1994).

A ordem de grandeza das formas de P nos solos amostrados neste trabalho coincide com os padrões gerais de fertilidade para as ordens de solo, embora, para algumas delas, o número de amostras tenha sido pequeno e não permita conclusões confiáveis. Em geral, Vertissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos Flúvicos são considerados de alta fertilidade (Embrapa, 1972a,b; 1973; Oliveira et al., 1992) e de maior disponibilidade de P (Embrapa, 1972a,b; 1973), tanto nesta região como em outras partes do mundo (López-Piñeiro & Garcia-Navarro, 2001). No semi-árido nordestino, são os preferidos para a agricultura tradicional, sem aplicação de fertilizantes, indicando que devem ter um bom reservatório de todos os nutrientes, incluindo P. Os Neossolos Litólicos também são considerados de boa fertilidade, embora sua pequena profundidade limite seu uso agrícola. Já Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Regolíticos, Planossolos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos são considerados de menor fertilidade natural (Embrapa, 1972a,b; 1973; Oliveira et al., 1992), em geral, e são menos preferidos na agricultura regional tradicional.

Se o P total determina o tamanho do reservatório deste nutriente para as plantas, esta disponibilidade se dá com distintos graus de dificuldade ou de acessibilidade no tempo, dependendo da combinação das diferentes formas no solo. Das extrações de P do solo mais comumente empregadas, como indicação de “disponível”, a de Mehlich-1 é uma das mais usuais no Brasil (Bahia Filho et al., 1983; Cantarella et al., 1994; Silva & Raji, 1999).

Os resultados das extrações de Mehlich-1 dos 69 solos mostram uma variabilidade tão grande quanto a encontrada para o P total e ainda maior dentro de cada ordem, embora com valores cerca de dez vezes menores (Quadros 2 e 3). Na camada superficial, a faixa vai de 1 a 202 mg kg<sup>-1</sup>, com vinte solos superando 20 mg kg<sup>-1</sup> e mais sete solos superando 10 mg kg<sup>-1</sup>. Os limites de 20 e 10 mg kg<sup>-1</sup> têm sido considerados como os de disponibilidade alta e média, respectivamente, na recomendação de fertilização de Pernambuco (Cavalcanti, 1998). Por este critério, a maioria dos solos estaria na faixa deficiente em P, justificando a afirmativa de que o P é limitante em grande parte da região semi-árida nordestina (Sampaio et al., 1995). Todas as ordens, exceto Neossolos Quartzarênicos e Vertissolos, tiveram algum solo incluído no grupo de alta disponibilidade.

O fato de os Vertissolos terem tido baixos valores de P Mehlich-1 e os mais altos valores de P total indica que as duas medidas têm padrões diferentes. Esta diferença é reforçada pelo caso de vários Luvisolos e Cambissolos que também tiveram valores altos de P total e valores de P Mehlich-1 baixos e pelo caso inverso de alguns Latossolos e Planossolos, com altos valores de P Mehlich-1 e baixos valores de P total (Quadro 2). As proporções do P total extraídas com o Mehlich-1 ajudam a



**Quadro 2. Valores máximos (Max), mínimos (Min) e médias com seus respectivos desvios-padrão, das frações de P e de P Mehlich-1, na profundidade de 0–20 cm, de dez ordens de solos do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco**

|               | RU                               | V     | C     | T     | P     | RL    | S     | RQ    | RR    | L     |
|---------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | mg kg <sup>-1</sup>              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|               | P resina                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 38,3                             | 7,8   | 62,3  | 34,3  | 46,1  | 23,2  | 13,8  | 4,0   | 32,2  | 10,6  |
| Min           | 4,4                              | 3,4   | 1,1   | 1,1   | 0,5   | 3,4   | 0,7   | 1,1   | 0,8   | 2,3   |
| Média         | 22,6                             | 5,6   | 17,1  | 6,8   | 12,0  | 8,5   | 4,8   | 2,3   | 6,0   | 6,6   |
| Desvio-padrão | 12,0                             | 3,1   | 30,1  | 2,9   | 15,4  | 7,3   | 4,5   | 1,0   | 9,3   | 3,4   |
|               | Pi-NaHCO <sub>3</sub>            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 114,3                            | 16,9  | 35,9  | 15,4  | 33,2  | 11,1  | 7,5   | 7,5   | 26,9  | 21,4  |
| Min           | 8,5                              | 16,9  | 5,2   | 3,3   | 0,8   | 6,6   | 3,9   | 3,0   | 3,1   | 3,5   |
| Média         | 38,1                             | 52,5  | 13,1  | 8,1   | 9,1   | 9,4   | 5,9   | 5,6   | 6,8   | 8,6   |
| Desvio-padrão | 39,3                             | 50,3  | 15,2  | 3,9   | 9,4   | 1,7   | 1,2   | 1,7   | 7,2   | 8,6   |
|               | Pi-NaOH                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 212,3                            | 120,7 | 113,2 | 40,5  | 67,0  | 45,8  | 19,3  | 31,2  | 31,8  | 37,0  |
| Min           | 23,4                             | 86,9  | 24,1  | 11,6  | 11,6  | 10,1  | 6,9   | 6,2   | 1,5   | 13,2  |
| Média         | 86,7                             | 103,8 | 47,7  | 20,4  | 28,2  | 24,4  | 12,5  | 14,4  | 9,5   | 20,3  |
| Desvio-padrão | 72,2                             | 23,9  | 43,7  | 9,0   | 16,6  | 11,2  | 4,3   | 9,1   | 8,7   | 11,2  |
|               | P-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 1274,2                           | 278,4 | 105,2 | 219,2 | 29,3  | 132,9 | 151,0 | 9,5   | 10,0  | 10,0  |
| Min           | 55,9                             | 93,9  | 34,9  | 19,0  | 2,5   | 17,1  | 2,1   | 4,2   | 2,2   | 4,3   |
| Média         | 338,0                            | 186,2 | 55,1  | 53,5  | 12,4  | 49,3  | 24,4  | 7,0   | 5,7   | 7,1   |
| Desvio-padrão | 481,5                            | 130,5 | 33,7  | 63,4  | 7,9   | 41,1  | 45,1  | 2,3   | 2,7   | 2,4   |
|               | Po- NaHCO <sub>3</sub>           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 31,9                             | 13,3  | 18,4  | 22,3  | 18,5  | 19,8  | 14,6  | 17,3  | 23,9  | 15,8  |
| Min           | 7,5                              | 8,7   | 1,2   | 1,6   | 7,1   | 0,9   | 3,7   | 2,3   | 6,4   | 4,9   |
| Média         | 19,8                             | 11,0  | 7,2   | 7,6   | 10,9  | 8,6   | 10,0  | 7,4   | 14,0  | 10,0  |
| Desvio-padrão | 8,2                              | 3,2   | 7,7   | 5,6   | 3,1   | 8,0   | 3,8   | 5,1   | 6,0   | 4,5   |
|               | Po-NaOH                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 153,4                            | 88,0  | 36,6  | 52,0  | 37,1  | 45,7  | 38,4  | 95,7  | 19,8  | 36,8  |
| Min           | 12,7                             | 36,8  | 15,5  | 10,4  | 14,2  | 13,6  | 10,0  | 12,7  | 1,9   | 13,0  |
| Média         | 39,5                             | 62,4  | 26,9  | 30,1  | 23,6  | 23,9  | 22,7  | 27,5  | 12,2  | 25,7  |
| Desvio-padrão | 55,9                             | 36,2  | 8,8   | 12,8  | 8,5   | 11,0  | 10,0  | 34,0  | 5,5   | 9,8   |
|               | P residual                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 364,5                            | 152,6 | 107,7 | 197,7 | 196,3 | 123,6 | 117,1 | 62,9  | 159,6 | 74,0  |
| Min           | 45,4                             | 50,3  | 55,7  | 39,9  | 40,0  | 45,5  | 20,0  | 18,0  | 16,3  | 56,7  |
| Média         | 144,5                            | 101,4 | 82,2  | 99,6  | 93,7  | 73,4  | 49,7  | 31,6  | 63,9  | 64,9  |
| Desvio-padrão | 120,3                            | 72,3  | 27,2  | 49,6  | 40,0  | 29,3  | 28,3  | 16,6  | 46,1  | 7,1   |
|               | P total                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 1625,8                           | 532,5 | 462,1 | 388,6 | 288,9 | 260,6 | 239,2 | 213,4 | 202,7 | 191,0 |
| Min           | 171,3                            | 287,8 | 154,0 | 119,4 | 114,7 | 130,7 | 70,3  | 52,6  | 73,5  | 121,6 |
| Média         | 682,4                            | 410,1 | 250,3 | 223,4 | 188,9 | 178,1 | 128,9 | 94,9  | 117,0 | 142,1 |
| Desvio-padrão | 631,0                            | 173,0 | 143,8 | 86,9  | 55,0  | 46,5  | 56,3  | 59,3  | 40,3  | 32,7  |
|               | P Mehlich-1                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Max           | 202,5                            | 4,9   | 44,5  | 59,3  | 78,8  | 27,4  | 171,6 | 7,1   | 89,2  | 74,1  |
| Min           | 23,0                             | 1,7   | 1,0   | 3,3   | 1,9   | 6,0   | 1,0   | 3,6   | 1,1   | 7,0   |
| Média         | 57,2                             | 3,3   | 14,1  | 13,2  | 21,1  | 14,5  | 26,3  | 5,3   | 14,6  | 36,3  |
| Desvio-padrão | 71,5                             | 2,3   | 20,4  | 16,8  | 27,1  | 8,7   | 52,3  | 1,2   | 26,6  | 27,8  |

i = inorgânico; o = orgânico; RU- Neossolo Flúvico; V- Vertissolo; C- Cambissolo; T- Luvissolo; P- Argissolo; RL- Neossolo Litólico; S- Planossolo; RQ- Neossolo Quartzarênico; RR- Neossolo Regolítico; L- Latossolo.

mostrar estas diferenças. Nos Vertissolos, Cambissolos e Luvissolos, foram, em média, de 1, 4 e 6 %, enquanto, nos Latossolos, atingiram 24 % (Quadro 4). O poder de extração do Mehlich-1

parece ser reduzido nos solos mais argilosos (Thomas & Peaslee, 1973; Kamprath & Watson, 1980; Novais & Smyth, 1999). Como os Vertissolos tiveram um baixo número de

**Quadro 3. Valores máximos (Max), mínimos (Min) e médias com seus respectivos desvios-padrão, das frações de P e de P Mehlich-1, na profundidade de 20–40 cm, de dez ordens de solos do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco**

|               | RU                               | V     | C     | T     | P     | RL    | S     | RQ   | RR    | L     |
|---------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|               | mg kg <sup>-1</sup>              |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|               | P resina                         |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 30,7                             | 2,6   | 2,6   | 4,0   | 12,1  | 12,2  | 3,0   | 3,6  | 14,3  | 5,4   |
| Min           | 2,3                              | 1,5   | 0,3   | 0,2   | 0,1   | 1,1   | 0,1   | 0,6  | 0,6   | 2,0   |
| Média         | 14,8                             | 2,0   | 1,7   | 1,3   | 2,6   | 3,0   | 0,9   | 1,4  | 3,1   | 3,1   |
| Desvio-padrão | 11,3                             | 0,7   | 1,0   | 1,3   | 4,3   | 4,1   | 0,9   | 1,1  | 4,0   | 1,6   |
|               | Pi-NaHCO <sub>3</sub>            |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 42,0                             | 41,7  | 16,2  | 9,5   | 7,0   | 8,4   | 5,2   | 6,1  | 20,5  | 7,1   |
| Min           | 3,9                              | 14,3  | 4,2   | 2,6   | 0,2   | 4,1   | 2,0   | 2,5  | 2,1   | 0,7   |
| Média         | 18,4                             | 28,0  | 7,7   | 4,6   | 3,4   | 5,8   | 3,7   | 4,4  | 5,4   | 2,4   |
| Desvio-padrão | 13,6                             | 19,3  | 5,7   | 2,2   | 2,0   | 1,6   | 1,1   | 1,6  | 5,5   | 3,1   |
|               | Pi-NaOH                          |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 100,2                            | 82,7  | 53,3  | 24,3  | 31,8  | 17,9  | 13,8  | 9,9  | 17,6  | 22,7  |
| Min           | 15,2                             | 59,6  | 13,9  | 5,8   | 10,4  | 9,2   | 3,4   | 5,8  | 0,5   | 8,5   |
| Média         | 46,6                             | 71,1  | 27,8  | 13,1  | 19,1  | 14,2  | 7,7   | 8,1  | 6,0   | 12,8  |
| Desvio-padrão | 32,3                             | 16,4  | 17,5  | 5,8   | 7,7   | 2,9   | 3,2   | 1,5  | 5,1   | 6,7   |
|               | P-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 1150,1                           | 202,7 | 51,0  | 50,5  | 12,1  | 41,5  | 20,8  | 7,7  | 8,7   | 8,8   |
| Min           | 35,9                             | 90,0  | 23,8  | 6,8   | 0,5   | 9,3   | 1,4   | 3,4  | 0,4   | 4,3   |
| Média         | 265,3                            | 146,3 | 33,8  | 23,2  | 8,2   | 21,0  | 7,3   | 5,5  | 4,8   | 6,3   |
| Desvio-padrão | 439,0                            | 79,7  | 11,9  | 16,3  | 3,7   | 11,7  | 5,7   | 1,8  | 3,0   | 1,9   |
|               | Po-NaHCO <sub>3</sub>            |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 17,5                             | 8,3   | 14,8  | 11,4  | 16,3  | 17,3  | 16,3  | 14,3 | 15,3  | 9,1   |
| Min           | 5,9                              | 6,4   | 3,0   | 0,2   | 5,2   | 0,2   | 5,2   | 1,8  | 3,2   | 4,6   |
| Média         | 14,1                             | 7,4   | 7,0   | 3,4   | 7,8   | 6,0   | 7,8   | 5,7  | 8,8   | 6,8   |
| Desvio-padrão | 4,2                              | 1,3   | 5,3   | 3,2   | 3,1   | 6,5   | 3,1   | 4,5  | 4,5   | 2,1   |
|               | Po-NaOH                          |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 61,8                             | 43,1  | 23,0  | 26,7  | 26,6  | 28,6  | 30,9  | 16,3 | 16,3  | 19,7  |
| Min           | 9,2                              | 30,2  | 14,6  | 9,2   | 7,2   | 9,9   | 8,3   | 5,8  | 1,7   | 10,1  |
| Média         | 20,5                             | 36,6  | 19,8  | 19,6  | 17,0  | 17,7  | 16,6  | 11,0 | 9,8   | 17,1  |
| Desvio-padrão | 20,4                             | 9,1   | 3,7   | 5,1   | 7,2   | 6,7   | 7,8   | 4,4  | 4,5   | 4,6   |
|               | P residual                       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 328,2                            | 123,9 | 80,8  | 177,7 | 101,7 | 100,0 | 97,8  | 30,6 | 108,8 | 68,8  |
| Min           | 18,2                             | 48,5  | 44,9  | 6,3   | 18,7  | 29,2  | 13,8  | 5,5  | 12,5  | 38,8  |
| Média         | 101,6                            | 86,2  | 65,5  | 70,0  | 50,8  | 55,8  | 38,4  | 13,5 | 39,0  | 53,5  |
| Desvio-padrão | 123,6                            | 53,3  | 17,0  | 46,6  | 26,1  | 23,4  | 24,7  | 9,0  | 30,3  | 12,6  |
|               | P total                          |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 1450,3                           | 503,8 | 224,9 | 258,7 | 175,2 | 179,7 | 152,9 | 75,4 | 145,0 | 137,6 |
| Min           | 146,2                            | 251,6 | 117,9 | 78,7  | 73,9  | 89,6  | 45,3  | 34,0 | 44,9  | 81,1  |
| Média         | 481,2                            | 377,7 | 162,1 | 135,3 | 109,0 | 123,5 | 80,9  | 49,6 | 77,0  | 102,0 |
| Desvio-padrão | 538,3                            | 178,3 | 49,0  | 51,9  | 33,8  | 31,2  | 33,2  | 14,3 | 28,4  | 24,6  |
|               | P Mehlich-1                      |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Max           | 169,6                            | 3,9   | 13,7  | 26,7  | 18,5  | 23,8  | 81,7  | 2,6  | 43,1  | 48,0  |
| Min           | 9,4                              | 0,8   | 0,6   | 0,6   | 0,8   | 1,5   | 0,6   | 1,0  | 1,0   | 2,0   |
| Média         | 40,9                             | 2,3   | 5,6   | 5,6   | 5,2   | 8,2   | 11,4  | 1,8  | 6,7   | 13,9  |
| Desvio-padrão | 63,2                             | 2,2   | 5,7   | 8,5   | 5,9   | 8,5   | 24,9  | 0,6  | 12,9  | 22,8  |

i = inorgânico; o = orgânico; RU- Neossolo Flúvico; V- Vertissolo; C- Cambissolo; T- Luvisolo; P- Argissolo; RL- Neossolo Litólico; S- Planossolo; RQ- Neossolo Quartzarênico; RR- Neossolo Regolítico; L- Latossolo.

amostras, a conclusão a respeito deles não é segura, mas a literatura confirma que os valores de Mehlich-1 destes solos, quando não fertilizados, são baixos (Embrapa, 1972a,b; 1973;

Lyra et al., 1995; Araújo & Oliveira, 2003). O Mehlich-1 funcionaria bem em solos mais intemperizados e com baixa capacidade de troca de cátions (Kamprath, 1991), como os Latossolos.



**Quadro 4. Valores médios e seus respectivos desvios-padrão das percentagens das frações de fósforo e de P-Mehlich-1 em relação ao P total, nas camadas de 0–20 cm e de 20–40 cm, em solos de dez ordens do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco**

|                  | P resina  | Pi NaHCO <sub>3</sub> | Pi NaOH    | P H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Po NaHCO <sub>3</sub> | Po NaOH     | P residual  | P Mehlich-1 |
|------------------|-----------|-----------------------|------------|----------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| %                |           |                       |            |                                  |                       |             |             |             |
| 0–20 cm          |           |                       |            |                                  |                       |             |             |             |
| Latossolo        | 4,8 ± 2,8 | 5,4 ± 3,9             | 13,6 ± 3,9 | 5,0 ± 1,1                        | 7,3 ± 3,8             | 18,0 ± 5,3  | 46,5 ± 5,5  | 23,5 ± 13,3 |
| Argissolo        | 5,9 ± 6,9 | 4,5 ± 3,7             | 14,2 ± 5,3 | 6,3 ± 3,1                        | 6,1 ± 2,0             | 14,0 ± 8,1  | 49,5 ± 12,6 | 10,5 ± 12,3 |
| Luvissolo        | 2,9 ± 4,1 | 4,1 ± 2,7             | 10,3 ± 6,5 | 21,0 ± 15,7                      | 3,5 ± 1,8             | 14,7 ± 6,3  | 44,6 ± 14,5 | 5,5 ± 4,7   |
| Planossolo       | 3,5 ± 2,5 | 5,2 ± 2,0             | 10,2 ± 2,5 | 14,4 ± 18,1                      | 8,7 ± 4,7             | 19,1 ± 8,3  | 40,0 ± 15,5 | 13,9 ± 21,4 |
| N. Regolítico    | 5,1 ± 6,8 | 5,9 ± 5,3             | 8,4 ± 6,6  | 5,2 ± 2,7                        | 13,6 ± 8,6            | 12,0 ± 6,9  | 50,8 ± 21,9 | 11,9 ± 19,5 |
| N. Quartzarênico | 3,0 ± 1,7 | 7,0 ± 3,3             | 15,5 ± 5,4 | 8,3 ± 2,7                        | 9,6 ± 7,8             | 23,2 ± 12,0 | 34,4 ± 5,9  | 6,9 ± 3,1   |
| N. Flúvico       | 4,6 ± 2,7 | 6,0 ± 2,1             | 15,6 ± 7,4 | 37,4 ± 20,8                      | 6,1 ± 4,3             | 6,7 ± 3,9   | 25,2 ± 7,5  | 9,9 ± 5,1   |
| N. Litólico      | 4,9 ± 3,9 | 5,6 ± 1,9             | 13,5 ± 4,4 | 31,0 ± 32,6                      | 4,8 ± 4,5             | 13,6 ± 6,1  | 40,8 ± 9,5  | 8,7 ± 5,4   |
| Cambissolo       | 4,2 ± 6,2 | 4,3 ± 2,4             | 17,2 ± 5,5 | 22,1 ± 4,0                       | 3,6 ± 3,5             | 11,8 ± 3,5  | 36,0 ± 10,0 | 4,2 ± 3,9   |
| Vertissolo       | 1,3 ± 0,2 | 11,2 ± 7,6            | 26,4 ± 5,3 | 42,5 ± 13,9                      | 2,8 ± 0,4             | 14,7 ± 2,7  | 23,1 ± 7,9  | 1,0 ± 1,0   |
| 20–40 cm         |           |                       |            |                                  |                       |             |             |             |
| Latossolo        | 3,0 ± 0,9 | 2,0 ± 2,1             | 12,1 ± 3,3 | 6,1 ± 0,6                        | 6,9 ± 2,6             | 17,3 ± 5,8  | 52,6 ± 5,9  | 10,8 ± 16,1 |
| Argissolo        | 2,9 ± 5,3 | 3,2 ± 2,0             | 18,0 ± 7,1 | 7,6 ± 3,3                        | 7,3 ± 2,1             | 16,4 ± 8,2  | 44,4 ± 12,8 | 5,5 ± 7,5   |
| Luvissolo        | 1,1 ± 1,2 | 4,0 ± 3,1             | 10,4 ± 6,0 | 18,2 ± 11,5                      | 2,5 ± 1,7             | 15,8 ± 5,6  | 48,0 ± 18,6 | 4,9 ± 7,1   |
| Planossolo       | 1,2 ± 1,3 | 5,3 ± 2,8             | 10,1 ± 3,9 | 9,4 ± 7,1                        | 8,1 ± 3,9             | 21,1 ± 6,9  | 44,4 ± 11,6 | 14,8 ± 33,6 |
| N. Regolítico    | 4,3 ± 5,0 | 7,3 ± 6,7             | 7,9 ± 6,4  | 6,8 ± 4,5                        | 13,6 ± 10,1           | 13,9 ± 7,2  | 46,2 ± 21,4 | 8,3 ± 15,7  |
| N. Quartzarênico | 3,1 ± 2,8 | 9,1 ± 3,1             | 17,0 ± 4,1 | 11,4 ± 3,6                       | 12,1 ± 11,0           | 21,9 ± 5,3  | 25,4 ± 9,0  | 4,1 ± 2,2   |
| N. Flúvico       | 4,2 ± 2,8 | 5,8 ± 4,1             | 14,3 ± 7,4 | 40,1 ± 19,9                      | 7,1 ± 5,1             | 7,0 ± 3,7   | 21,4 ± 12,4 | 8,2 ± 3,7   |
| N. Litólico      | 2,2 ± 2,6 | 4,9 ± 1,7             | 11,7 ± 2,0 | 17,4 ± 10,7                      | 5,0 ± 5,5             | 14,5 ± 5,5  | 44,2 ± 9,7  | 6,9 ± 6,4   |
| Cambissolo       | 1,0 ± 0,5 | 4,4 ± 2,0             | 16,3 ± 5,7 | 20,9 ± 3,3                       | 4,2 ± 2,8             | 12,8 ± 3,7  | 40,8 ± 4,5  | 3,2 ± 2,4   |
| Vertissolo       | 0,7 ± 0,5 | 7,0 ± 1,8             | 20,0 ± 5,1 | 38,0 ± 3,2                       | 2,1 ± 0,6             | 10,3 ± 2,4  | 21,9 ± 3,7  | 0,9 ± 1,0   |

N. – Neossolo.

O fracionamento permite que se avalie o P lábil: o P resina e o Pi-NaHCO<sub>3</sub>. A extração apenas com resina também é muito usada como forma de avaliação da disponibilidade de P do solo e é o método de rotina usado em São Paulo (Raij et al., 2001). A faixa de variação dos teores de P resina foi menor que a dos teores de Mehlich-1 (Quadros 2 e 3) e os valores foram significativamente correlacionados ( $r = 0,47$ ,  $p < 0,001$ ). Menores valores para a resina do que para o Mehlich-1 têm sido relatados com frequência (Leal et al., 1994; Nuernberg et al., 1998) e poderiam ser explicados pelo fato de extratores químicos, como o Mehlich-1, retirarem o P lábil e parte do que já havia sido retirado pela resina. A parte deste (Sibbensen, 1978; Raij et al., 1987).

A faixa de Pi extraído por NaHCO<sub>3</sub> foi da mesma grandeza da extraída por Mehlich-1 (Quadros 2 e 3), embora os valores não tenham sido correlacionados. Deve-se ressaltar que, por ser uma extração sequencial, o NaHCO<sub>3</sub> pode ter deixado de extrair parte do que já havia sido retirado pela resina. A

correlação de Pi-NaHCO<sub>3</sub> com P resina foi significativa (0,55,  $p < 0,001$ ). As extrações com bicarbonato e Mehlich-1 tiveram efeitos distintos em algumas ordens. Nos Vertissolos, os valores de Pi-NaHCO<sub>3</sub> foram altos, contrastando com os valores baixos de P-Mehlich-1, o que fica mais evidente quando calculados como proporções do P total (11 e 1 %, respectivamente; Quadro 4). Esta proporção extraída pelo NaHCO<sub>3</sub> foi mais alta que a de todas as outras ordens (4 a 7 %).

Nos Latossolos, ocorreu o inverso: 5 % com NaHCO<sub>3</sub> e 24 % com Mehlich-1. A extração com bicarbonato (Olsen et al., 1954) tem sido recomendada especialmente para solos de semi-árido e de pH alto (Kamprath, 1991) e os Vertissolos têm estas características, mas os Luvissolos e os Neossolos Flúvicos também têm e estes tiveram proporções de Pi-NaHCO<sub>3</sub> semelhantes às das outras ordens.

A faixa de extração do Pi-NaOH (1,5 a 212 mg kg<sup>-1</sup> – Quadros 2 e 3) foi maior que a das duas frações precedentes, mas semelhante à do P Mehlich-1.

Como no caso do  $\text{Pi-NaHCO}_3$ , a proporção de  $\text{Pi-NaOH}$  extraída dos Vertissolos (26 % - Quadro 4) foi mais alta que a faixa das outras ordens (8 a 17 %). Parece, portanto, que os Vertissolos têm maior proporção de P ligado a Fe e a Al, formas que predominam na extração com hidróxido de Na (Tiessen et al., 1984; Smeck, 1985; Wagar et al., 1986). Entretanto, eles também tiveram a mais alta proporção, entre as ordens, de P extraído pelo ácido sulfúrico (42 %), relacionado com P ligado a Ca. Assim, os Vertissolos parecem ter pouco P retirado com os extratores mais fracos (resina e bicarbonato de Na), mas muito retirado com extratores mais fortes (hidróxido de Na e ácido sulfúrico). Faltam dados para saber se este P está disponível para as culturas, mas sabe-se que parte do P destas frações é deslocada para as frações mais lábeis, quando estas são retiradas (Araújo et al., 2004b), e isto pode justificar seu uso agrícola continuado na região.

Além da maior extração dos Vertissolos, o ácido sulfúrico também extraiu quantidades relativamente altas dos Neossolos Flúvicos, Luvisolos, Neossolos Litólicos e Cambissolos, em contraste com extrações muito baixas dos Argissolos, Latossolos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos (Quadros 2 e 3). Este contraste pode ser ilustrado pelas proporções médias do P total extraído pelo ácido: de 21 a 42 %, para o grupo das primeiras cinco ordens, e de 5 a 8 %, para o grupo destas últimas quatro ordens (Quadro 4). O grupo de ordens com valores de  $\text{P-H}_2\text{SO}_4$  baixos, solos muito intemperizados (Argissolos e Latossolos) ou com poucas reservas de minerais primários ricos em P na camada superficial (Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos), é considerado de solos pobres em P ligado a Ca (Oliveira et al., 1992).

As frações de P orgânico, extraídas com bicarbonato e hidróxido (Quadros 2 e 3), especialmente a última, contrastam com todas as anteriores pela menor disparidade entre os valores absolutos dos solos. Por serem frações de P produzidas biologicamente e pela maior homogeneidade entre solos, parecem ser relativamente mais independentes dos fatores de formação dos solos e mais dependentes das condições de acumulação de matéria orgânica. É o caso dos Neossolos Flúvicos e Vertissolos, que, sendo dos solos mais férteis e com maiores condições de produzir mais biomassa vegetal, foram os que apresentaram os maiores valores de matéria orgânica (Quadro 1), bem como os maiores valores de P orgânico (Quadros 2 e 3), nas duas camadas. A similaridade entre os valores absolutos significa que proporções menores foram extraídas para as ordens de solos com maior P total (Neossolos Flúvicos e Vertissolos) e maiores para ordens com menor P total (Neossolos Quartzarênicos, Planossolos e Neossolos Regolíticos), exceto Latossolos. Para as duas ordens de maior P total, as proporções médias de P das duas frações orgânicas juntas foram de 13 e 17 %, respectivamente, e, para

as três ordens de menor P total, foram de 33, 28 e 26 %, respectivamente, reforçando, nestes casos, a afirmativa de que o P orgânico é importante em solos tropicais pobres em P (Tiessen et al., 2001).

O P residual, a menos lábil das frações, correspondeu a proporções entre um terço e metade do P total da maior parte dos solos de todas as ordens (Quadros 2 e 3), exceto Vertissolos (23 %) e Neossolos Flúvicos (25 %). Como estas também são duas das ordens com solos de maior teor de P total, significa que têm um teor maior que as outras ordens de P relativamente mais lábil ou retirado com extrações menos drásticas. Como as frações de P orgânico, as diferenças relativas de P residual entre solos foram menores que as encontradas nas outras frações ou na extração de Mehlich-1.

## CONCLUSÕES

1. Houve grande variabilidade nas concentrações de P, entre ordens e dentro de uma mesma ordem de solo, determinadas por qualquer dos extratores utilizados.

2. Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Luvisolos e Cambissolos tiveram os valores médios mais altos de P total; Argissolos, Neossolos Litólicos e Latossolos, valores intermediários; e Neossolos Regolíticos, Planossolos e Neossolos Quartzarênicos, valores mais baixos.

3. O maior reservatório de P, em geral, foi o P residual, e os menores, as frações mais lábeis ( $\text{P resina}$  e  $\text{Pi}$  e  $\text{Po-NaHCO}_3$ ), representando juntas entre 10 e 25 % do P total.

4. Mehlich-1 extraiu baixas proporções de P total dos Vertissolos (1 %) e alta proporção dos Latossolos (24 %), o inverso ocorrendo com a extração com bicarbonato (11 e 5 %, respectivamente). A resina extraiu baixas proporções em todas as ordens (1 a 6 %).

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, J.A. & WALKER, T.W. Some properties of a chronotoposequence of soils from granite in New Zealand. 2. Forms and amounts of phosphorus. *Geoderma*, 13:41-51, 1975.
- AGBENIN, J.O. & TIESSEN, H. Phosphorus transformations in a toposequence of Lithosols and Cambisols from semi-arid northeastern Brazil. *Geoderma*, 62:345-362, 1994.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:985-1002, 2003.
- ARAÚJO, P.M.D.B. & OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo e potássio em solos das Regiões Oeste e do Baixo Açu, Estado do Rio Grande do Norte. *Caatinga*, 16:69-78, 2003.

- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solos cultivados com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. R. Bras. Ci. Solo, 17:389-396, 1993.
- ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.R. & SAMPAIO, E.V.S.B. Soil phosphorus fractions from toposequences of semi-arid Latosols and Luvisols in northeastern Brazil. Geoderma, 119:309-321, 2004a.
- ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R. & SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 28:259-268, 2004b.
- BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. Experimentiae, 20:217-234, 1975.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; MENDES, J.F.; PITTA, G.V.E. & OLIVEIRA, A.C. Formas de fósforo inorgânico e fósforo “disponível” em um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. R. Bras. Ci. Solo, 6:99-104, 1982.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade de tampão de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 7:243-249, 1983.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 178p. (Tese de Doutorado)
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & MATTOS Jr., D. A análise de solo no Brasil: 1982-1989. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1994. p.96-112.
- CAVALCANTI, F.J.A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. Recife, IPA, 1998. 198p.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 84:33-144, 1957.
- CHAVES, L.H.G.; MENINO, I.B.; ARAÚJO, I.A. & CHAVES, I.B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do Município de Sousa, PB. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 2:262-267, 1998.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento exploratório- Reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco – descrições de perfis de solo e análises. Recife, 1972a. v.2. 354p. (Convênio MA/DNPEA-SUDENE/DRN)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. I-Levantamento exploratório- Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II-Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972b. 670p. (Convênio MA/EPE-SUDENE/DRN)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento exploratório- Reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, 1973. v.1. 359p.
- 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Serviço de Produção da Informação, 1999. 412p.
- FARIA, C.M.B. & PEREIRA, J.R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. Pesq. Agropec. Bras., 28:1363-1370, 1993.
- 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.
- KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.433-489.
- KAMPRATH, E.J. Appropriate measurements of phosphorus availability in soils of the semi-arid tropics. In: JOHANSEN, C.; LEE, K.K. & SAHARAWAT, K.L., eds. Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics. Patancheru, ICRISAT, 1991. p.23-31.
- LEAL, J.E.; SUMNER, M.E. & WEST, L.T. Evaluation of available P with different extractants on Guatemala soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 25:1161-1196, 1994.
- LÓPEZ-PIÑEIRO, A. & GARCIA-NAVARRO, A. Phosphate fractions and availability in Vertisols of South-Western Spain. Soil Sci., 166:548-566, 2001.
- LYRA, M.C.C.P.; RIBEIRO, M.R. & RODRIGUES, J.J.V. Caracterização de Vertissolos em projetos de irrigação na região do baixo-médio São Francisco: II. Propriedades morfológicas, físicas e químicas. R. Bras. Ci. Solo, 19:441-448, 1995.
- LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C.D. & MERMUT, A.R. Pedogênese em uma toposequência do semi-árido de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 16:95-102, 1992.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NUERNBERG, N.J.; LEAL, J.E. & SUMNER, M.E. Evaluation of an anion-exchange membrane for extracting plant available phosphorus in soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 29:467-479, 1998.

- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil; Guia auxiliar para seu reconhecimento. 2.ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B. & JACOMINE, P.K.T. Classificação de solos Planossólicos do Sertão do Araripe (PE). R. Bras. Ci. Solo, 27:685-693, 2003.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S. & DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, Washington, Government Printing Office, 1954. 19p. (USDA Circular 939)
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- 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. Embrapa, 1995. p.51-71.
- SCHOENAU, J.J.; STEWART, J.W.B. & BETTANY, J.R. Forms and cycling of phosphorus in prairie and boreal forest soils. Biogeochemistry, 8:223-237, 1989.
- SHARPLEY, A.N.; TIESSEN, H. & COLE, C.V. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis. Soc. Soil Sci. Am. J., 5:362-365, 1987.
- SIBBENSEN, E. An investigation of anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. Plant Soil, 50:305-321, 1978.
- SILVA, P.C.M. & CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. R. Bras. Eng. Agr. Amb., 5:431-436, 2001.
- SILVA, F.C. & RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesq. Agropec. Bras., 34:267-288, 1999.
- SMECK, N.E. Phosphorus: 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.
- SMECK, N.E.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Genesis and native phosphorus distribution in some Paleoxerals, of Southern Spain. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1718-1723, 1994.
- SNYDER, J.D. & TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil sample. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 15:587-597, 1984.
- STATSOFT, INC.- Statistica for windows. Release 5.0. Tulsa, StatSoft, 1995.
- SYERS, J.K.; BROWMAN, M.G.; SMILLIE, G.W. & COREY, R.B. Phosphorus sorption by soils evaluated by Langmuir adsorption equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:358-363, 1973.
- THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1973. p.115-132.
- TIESSEN, 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.
- 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. Ecosys. Environ., 38:139-151, 1992.
- TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. Nutr. Cycling Agroecosys., 61:99-103, 2001.
- 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.
- WALKER, T.W. The significance of phosphorus in pedogenesis. In: HALLSWORTH, E.G. & CRAWFORD, D.V., eds. Experimental pedology. London, Butterworths, 1964. p.295-315.
- WALKER, T.W. & SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. Geoderma, 15:1-19, 1976.