

FORMAS DE FÓSFORO E SUA DISPONIBILIDADE EM SOLOS DA REGIÃO DA IBIAPABA-CE.*

FRANCISCO HÉLIO PIMENTA TEÓFILO**
JOSÉ NELSON ESPINDOLA FROTA***

Foram realizadas determinações das diversas formas de fósforo em seis solos representativos da Região da Ibiapaba-Ceará-Brasil, objetivando o estudo natural do fósforo, seu comportamento após a aplicação de fertilizante e o desenvolvimento da cultura do milho. O valor médio de fósforo total dos solos é baixo devido possivelmente se originarem de materiais pobres neste elemento. Após a aplicação do fertilizante houve uma diferença significativa na retenção de fósforo entre os solos, com as frações ligadas ao alumínio, ferro solúvel atingindo cerca de 86% da forma inorgânica, e destes predominando P-Al com 46,5%. Houve uma diminuição do fósforo total do solo após 30 dias de desenvolvimento das plantas causada pela absorção do nutriente. O fósforo na planta correlacionou-se significativamente com as frações fósforo ligado ao alumínio e a ferro combinadas. Mesmo a absorção de fósforo sendo significativa não houve aumento correspondente de massa seca. O fósforo disponível apresentou aumento significativo após a aplicação do fertilizante, diminuindo após a colheita do material vegetal,

devido possivelmente a diminuição nas formas em que atua o extrator usado e a absorção pelo vegetal.

O conceito de disponibilidade de fósforo proposto por Bray (1948) relaciona a quantidade do nutriente independente de sua forma, em dado momento, com o crescimento do vegetal. Entretanto diversos autores (Al-Abbas & Barber, 1964 ; Rauschkolb, 1963; Chang, Singh et alii, 1966) constataram que algumas formas de fósforo estão mais disponíveis que outras, dependendo do tipo de solo e da cultura. Desta forma o conhecimento das diversas frações de fósforo no solo e seu inter-relacionamento é de fundamental importância na avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas. Estas frações são subdivididas usualmente, em relativamente inativas e ativas. Estão classificadas nas primeiras as formas oclusas e solúvel em redutor e as ativas são as frações ligadas ao cálcio, alumínio e ferro. De acordo com Chang & Jackson (1958), o fósforo solúvel em NH_4Cl ou "P-salóide", corresponde ao fósforo solúvel em água e ao fracamento absorvido.

O presente trabalho objetiva estudar a disponibilidade das diversas formas de fósforo em solos da região da Ibiapaba após a aplicação de fósforo solúvel.

* Trabalho extraído da dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia da U.F.C. pelo primeiro autor, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

** Pós-graduado a nível de Mestrado pelo Centro de Ciências Agrárias da UFC.

*** Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias da UFC.

MATERIAL E MÉTODO

Seis solos representativos da região da Ibiapaba, Estado do Ceará, sendo três latossolos vermelho distrófico, um latossolo acinzentado distrófico, um podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico e um areia quartzosa, foram utilizados, e suas características químicas e físicas estão descritas na tabela 1.

Em cada solo foi coletada uma amostra na camada superficial (0-25 cm), que foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha. De cada amostra foram retiradas duas sub-amostras, sendo uma analisada em condições naturais e a outra, com 18 kg, foi incubada com uma solução de 100 ppm de fósforo, na forma de KH_2PO_4 , durante sessenta dias. Com a finalidade de proporcionar maior uniformidade da distribuição de fósforo foi adicionada água até atingir a capacidade de campo de cada solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, fechados e mantidos a temperatura ambiente (mínima: $21,6^\circ\text{C}$ e máxima: $31,8^\circ\text{C}$). Após o período de incubação, as amostras foram novamente secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura. Cada amostra de 18 kg foi sub-dividida em três de 6 kg e colocadas em vasos plásticos. O mesmo procedimento foi adotado para o solo natural, totalizando 36 vasos. Os vasos foram distribuídos ao acaso com três repetições obedecendo o delineamento de blocos casualizados. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, sob condições ambientais normais.

Utilizou-se o milho (*Zea mays*, L.), cultivar "Centralmex", como planta indicada. Semeou-se 30 sementes por vaso e irrigou-se até 80% da capacidade de campo dos solos, retornando para os vasos qualquer excesso de água. Após uma semana de emergência da plântula foi feito o desbaste, ficando 25 plantas por vaso. A colheita foi efetuada 30 dias

após a germinação, cortando-se as plantas rente ao solo e acondicionando-as em sacos de papel apropriado. O material colhido foi colocado em estufa a 70°C e pesado diariamente até peso constante, quando foi moído em moinho tipo Wiley. O fósforo na planta foi determinado pela metodologia descrita por Lott et alii (1956).

As amostras de solo foram analisadas, antes e depois da incubação e depois da colheita, para as determinações de fósforo total e orgânico de acordo com a metodologia proposta por Jackson (1958). Para a determinação das frações do P-inorgânico utilizou-se o método de Chang & Jackson (1957), modificado por Peterson & Corey (1966). O fósforo disponível foi determinado usando-se o extrator químico Mehlich. Para a análise dos dados utilizou-se os métodos comuns de variância e os contrastes formulados comparados pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição das formas de fósforo dos solos em condições naturais e incubação.

As tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam os teores das diversas formas de fósforo, em valores absolutos e relativos nos solos em condições naturais e após o período de incubação. Conforme conclusão de Teófilo e Frota (1981). O valor médio do fósforo total nos solos é baixo, com 36,5 ppm de P-orgânico correspondendo a 38,3% do P-total. As frações P-solúvel em NH_4Cl , P-Al, P-Fe, P-solúvel em redutor e P-Ca apresentaram valores médios de 1,95 ppm, 10,84 ppm, 24,22 ppm e 6,68 ppm respectivamente, nos solos sob condições naturais. Após a aplicação de fosfato houve uma diferença significativa na retenção de fósforo entre os solos. As frações P-Al, P-Fe e P-solúvel em redutor foram as que retiveram mais fósforo e em conjunto representaram 85,9% do P-inorgânico, com predominância do P-Al com 46,5%.

Variações das formas de fósforo após a colheita do material vegetal.

As formas de "P-salóide", P-Al e P-Ca, sofreram uma diminuição significativa (TABELA 8). O fósforo solúvel em redutor teve um aumento altamente significativo, sendo que nesta forma se encontra como fosfato de ferro III revestindo as partículas do solo. Isto demonstra que as formas relativamente mais solúveis de fosfato, com o tempo, vão se transformando em outras menos solúveis, como observaram também Syers et alii (1971) e Shelton & Coleman (1968). Possivelmente, também a variação das formas, "P-salóide", P-Al e P-Ca, seja devido a remoção de fósforo pela cultura, conforme já constatado por vários pesquisadores, Fassbender, et alii (1968), Payne & Hanna (1965) e Singh et alii (1966). Em termos percentuais médios, as formas "P-salóide", P-Al, P-Ca e P-red., participaram na formação de fósforo inorgânico com 4,98%, 36,78%, 2,73% e 38,85%, respectivamente (TABELA 7).

O fósforo disponível diminuiu significativamente (TABELA 8), devido possivelmente a diminuição nos teores das formas que atua o extrator usado para fósforo disponível, principalmente, sobre o fósforo ligado ao alumínio e de acordo com Bahia Filho (1975) essa forma tem maior atividade relativa em relação as demais. Outro fator a considerar também, é a absorção vegetal. O conteúdo de fósforo disponível variou de 34,8 pp a 13,1 ppm, com valor médio de 22,7 ppm, (TABELA 6).

O fósforo inorgânico e total diminuíram significativamente (TABELA 8), provavelmente esta variação, na sua maioria, seja devido a remoção do fósforo pela cultura. Os teores de fósforo inorgânico variaram de 143,19 ppm a 195,76 ppm, com valor médio de 169,48 ppm; o fósforo total apresentou uma variação de 151,36 ppm a 204,43 ppm, com valor médio de 184,93 ppm (TABELA 6).

As formas de P-Fe, P-residual e P-org., não sofreram variações significativas (TABELA 8). O P-Fe e o P-residual, participaram na formação do fósforo inorgânico com percentuais médios de 15,05% e 1,59%, respectivamente, (TABELA 7). O fósforo total dos solos após a retirada das plantas apresentou um valor médio 184,93 ppm, sendo 50,30% desse valor o correspondente ao existente no solo natural. A participação do fósforo orgânico na formação do fósforo total no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal foram, respectivamente, 39,02%, 11,30% e 8,35% (valores obtidos das TABELAS 3, 5 e 6). Provavelmente essa diminuição decrescente no teor de fósforo orgânico, seja devida a mineralização do P-org. por microrganismos do solo, uma vez que nos dois últimos estágios (solo incubado e após retirada do material vegetal), os solos apresentavam um conteúdo satisfatório de umidade, favorecendo a atividade dos microrganismos. Cho & Caldwell (1959) verificaram que o fósforo orgânico está relacionado com o conteúdo de matéria orgânica do solo mas Vieira (1966), em solo da Amazônia observou-se que o fósforo orgânico não possui, em geral relação como o conteúdo de matéria orgânica.

Provavelmente, a variação não significativa verificada na fração P-Fe seja devido ao baixo teor de óxido de ferro, (TABELA 1), — Fe_2O_3 — existentes nos solos e a sua menor reatividade na retenção de fosfato em relação aos óxidos de alumínio como observaram Franklin & Reisenauer (1960).

Relação entre fósforo absorvido, massa seca e formas de fósforo dos solos.

Da análise da TABELA 9 verifica-se a participação estimada do fósforo total absorvido pelas plantas, colaborando em média com 77,93%, correspondendo em termos médios quantitativos a 8,75 mg de P/vaso. Esta tendência demonstra uma resposta altamente significativa das

plantas ao uso de fertilizantes fosfatados, principalmente porque os solos não tiveram qualquer tratamento adicional em termos de fertilidade. Contrariamente Dedatta (1966) verificou que a participação do fósforo aplicado ao solo em relação ao absorvido teve uma variação de 8 a 27%, demonstrando que a maior parte do fósforo absorvido era devido ao fósforo nativo. Como foi conduzido o trabalho e como observa Khasawneh (1971), a absorção de fósforo pelo vegetal é função do parâmetro quantidade, uma vez que o volume de solo explorado é limitado. Deve-se ressaltar, todavia, que as plantas exploraram todo volume do solo e conseqüentemente tiveram todo o fósforo em condições de ser absorvido. Devido a imobilidade do fósforo, em condições de campo, nem todo o fósforo aplicado necessariamente estará em contacto com as raízes para a absorção. Acompanhando a mesma tendência, Mc Lean & Logan (1970) verificaram que em solos de baixa capacidade de fixação, aumentando o fósforo solúvel em água, aumentava o conteúdo de fósforo em plantas jovens de milho.

Das formas existentes nos solos, o fósforo absorvido se correlacionou significativamente com o P-AI, P-Fe. Com as demais formas não apresentou relação significativa, combinada ou isoladamente. Concordando com os resultados obtidos vários trabalhos ou isoladamente, como as frações que mais contribuíram na absorção de fósforo pelo vegetal, Al-Abbas & Barber (1964), Payne & Hanna (1965), Sing et alii (1966), Fassbender et alii (1968) e Bahia & Braga (1975).

Não se apresentou relação significativa entre massa seca e as formas de fósforo ativas, sugerindo que o pouco crescimento relativo seja devido a outros fatores além do suprimento de fósforo e provavelmente ao curto período de crescimento, uma tendência já observada por Gunary & Sutton (1967), verificando que a correlação entre fósforo absorvido

e produção de matéria seca foi mais baixa quando a dosagem de fósforo era maior. Embora Bahia e Braga (1975), tenham verificado que a produção de matéria seca fora influenciada principalmente pelo P-AI e Rauschkolb (1963) verificou que a matéria seca se correlacionou com o "P-salóide", não ocorrendo a mesma relação com as outras formas ativas de fósforo, combinadas ou isoladamente.

Observando-se a variação de fósforo total existente no solo na ocasião do plantio e após a colheita de material vegetal (TABELAS 4 e 6), verifica-se uma diferença significativa, a qual explica também a diferença significativa entre a quantidade de fósforo absorvido pelas plantas, do solo adubado e sem adubação (TABELA 9). De acordo com Fox et alii (1974), de um modo geral, a produção máxima de milho está associada a uma concentração de fósforo de 0,6 ppm na solução do solo e Baldovino & Thomas (1967) encontraram especificamente para latossolos argilosos uma concentração de 0,07 ppm.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram estabelecer as seguintes conclusões:

- Os solos estudados apresentaram baixos teores de fósforo total e fósforo disponível;
- Após a aplicação do fertilizante o fósforo disponível aumentou significativamente, porém após a colheita das plantas houve redução do elemento, ocasionado possivelmente pela diminuição das formas em que atua o extrator usado e devido a absorção pelo vegetal. Mesmo sendo significativa a absorção de fósforo pela planta, não houve um correspondente aumento de massa seca;
- Houve uma diminuição significativa do fósforo total do solo após 30 dias de desenvolvimento da

cultura, causada pela absorção de fósforo pelas plantas; Estimou-se a participação do fertilizante em aproximadamente 80% na formação do fósforo absorvido, demonstrando que os solos respondem significativamente ao uso de adubos fosfatados referente a disponibilidade de fósforo para as plantas.

SUMMARY

In this paper the authors studied the different phosphorus fractions in six soils of Ibiapaba, Ceará, Brazil, and their behavior after fertilization and cropping. The phosphorus applied as fertilizer was fixed in all soils but under different forms, mainly as P-Al, P-Fe and P-soluble. The plants absorbed significant amount of the nutrient but there was no increasing in dry matter.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, A. H. & BARBER, S. A. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I - Correlation of soil phosphorus fraction with plant-available phosphorus. *Soil Science Soc. Amer. Proc.* 28 (2) : 218-21, 1964.
- BAHIA, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais III - Índice de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. *Experientiae*, 20 (8) : 218-34, 1975.
- BAHIA FILHO, A. F. C. *Fósforo em latossolo do Estado do Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo disponível e crescimento vegetal*. Viçosa, Minas Gerais, 1975. 68 p. Tese (M. S.), Universidade Federal de Viçosa.
- BALDOVINOS, S. F. O. & THOMAS, S. G. W. The effect of soil clay and phosphorus up take. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31 : 680-82, 1967.
- CHANG, S. C. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available phosphorus. *Soil Fertility*, Taiwan, 1-15 1965.
- , --- & JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, 84 (2) : 134-44, 1957.
- , --- Soil phosphorus in some representative soils. *The Journal of Soil Science*, Oxford, 9 (1) : 109-19, 1958.
- CHO, C. M. & CALDWELL, A. C. Form of phosphorus and fixation in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23 (6) : 458-60, 1959.
- DEDATTA, S. K. et alii. Phosphorus supplying capacity of lowland rice soils. *Soil Science Soc. Amer. Proc.*, 30 (5) : 613-17, 1966.
- FASSBENDER et alii. Estudio des phosphorus en suelos America Central. II Formas e su relación com las plantas. *Turrialba*, 18 (4) : 333-47, 1968.
- FOX, R. L. et alii. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soil. *Tenth Int. Congr. Soil Sci.*, Moscow, 4 : 232-39, 1974.
- FRANKLIN, W. T. & REISNAUER, H. M. Chemical characteristics of soil related to phosphorus fixation and availability. *Soil Science*, Baltimore. 90 : 192-200, 1960.
- GUNARY, D. & SUTTON, C. D. Soils factors affecting plant uptake of phosphate. *The Journal of Soil Science*, 18 (1) : 167-73, 1967.
- JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis*. Englewood, New Jersey, prentice-hall, Inc. 1958.
- KHASAWNEH, F. E. Solution ion activity and plant growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35 (3) : 426-35, 1971.
- LOTT et alii. *A Técnica da análise foliar aplicada ao cafeeiro*. São Paulo, IBEC Research Institute, 1956. 40 p. (Bol. Tec., 9).
- MC LEAN, E. O. & LOGAN, T. J. Sources of phosphorus for plants grown in soils with differing phosphorus fixation tendencies. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 34 (6) : 907-11, 1970.
- PAYNE, H. & HANNA, W. J. Correlation among soil phosphorus fractions extractable phosphorus and plant content of phosphorus. *J. Agric. Ed Qhen.*, Whashington, 13 : 322-6, 1965.
- PETERSEN, G. W. & COREY, R. B. A modified Chang an Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30 (5) : 563-5, 1966.
- RAUSCHKOLB, R. S. *Phosphorus fractions in some Arizona soils* U.S.A., 1963, 66 p. Tese (M.S.) University of Arizona.
- SHELTON, J. E. & COLEMAN, N. T. Inorganic phosphorus fractions on their relationship, to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Madison, 32 (1) : 91-4, 1968.
- SINGH, R. N. et alii. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30 (5) : 617-20, 1966.
- SYERS, J. K. et alii. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Science*, 112: 267-75, 1971.
- TEÓFILO, F. H. P. & FROTA, J. N. E. *Estudo das diversas formas de fósforo em solos da Região da Ibiapaba-CE*. Submetida à publicação em Ciência Agronômica. 1981.
- VIEIRA, L. S. *Ocorrência e forma de fósforo em solos da Amazonia, Brasil*. Turrialba, 1966, 110 p. Tese (M. S.) Instituto Interamericano da OEA

TABELA 3

Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo na camada arável.

SOLOS	"P-salóide	P-Al	p-Fe	p-red	p-Ca	p-resid.
1	5,10	9,05	14,78	41,42	17,86	11,79
2	2,52	22,89	16,15	41,69	8,87	7,88
3	3,00	12,98	23,96	45,16	11,07	3,53
4	2,59	22,80	22,95	31,36	13,17	7,13
5	3,68	14,84	17,98	48,79	11,58	3,13
6	4,35	17,04	17,35	53,40	7,40	0,46
MÉDIAS						

TABELA 4

Distribuição das formas de fósforo nos solos após 60 dias de incubação com 100 ppm de KH_2PO_4 . Fortaleza, Ceará, Brasil — 1981.

SOLOS	P. salóide	P-Al	P-Fe	P-Red.	P-Ca	P-Resid.	P-Inorg	P-Org.	P. Total	P-Disp.
					ppm					
1	10,98	77,42	25,68	51,82	7,68	1,32	174,90	20,49	195,39	59,4
2	8,98	91,22	26,82	37,68	6,44	16,36	187,50	41,19	228,69	62,7
3	9,98	75,36	30,40	65,96	7,68	0,03	189,41	12,64	202,05	51,7
4	8,98	84,00	39,08	47,10	6,44	12,59	198,19	10,87	209,06	83,6
5	13,98	84,00	13,30	29,20	6,44	5,54	152,46	39,32	191,78	83,6
6	15,98	77,42	13,30	42,40	5,44	3,25	157,79	10,61	168,40	79,2
	11,48	81,57	24,76	45,69				22,52	199,22	

TABELA 05

Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após período de incubação.

SOLOS	P-salóide	P-Al	P-Fe	P-red.	P-Ca	P-resid.
1	6,28	44,27	14,68	29,62	4,40	0,75
2	4,79	48,65	14,30	20,10	3,43	8,73
3	5,26	39,79	16,04	34,83	4,06	0,02
4	4,54	42,38	19,72	23,76	3,24	6,36
5	9,16	55,10	8,73	19,15	4,23	3,63
6	10,12	49,06	8,43	26,88	3,45	2,06
	6,69	46,54				

TABELA 6

Distribuição das formas de fósforo nos solos após colheita do material vegetal. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

SOLOS	"P. salóide"	P-Al	P-Fe	P-Red.	P-Ca	P-Resid.	P-Inorg.	P-Org.	P-Total	P-Disp.
ppm										
1	8,98	56,62	26,82	70,66	5,44	1,31	169,83	16,94	186,77	20,4
2	5,98	59,70	32,66	65,96	4,20	5,45	173,95	34,48	208,43	20,4
3	7,98	61,98	33,98	75,38	5,44	1,52	186,28	10,97	197,25	13,1
4	8,98	67,94	41,74	69,38	4,44	3,28	195,76	9,60	205,36	18,7
5	9,98	61,76	13,22	56,54	4,68	1,71	147,89	12,56	160,45	34,8
6	7,98	61,98	10,38	56,54	3,44	2,87	143,19	8,17	151,36	29,0
Médias	8,31	61,66	26,46	65,74	4,60	2,69	169,48	15,45	184,93	22,73

TABELA 7

Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após a colheita do material vegetal.

SOLOS	"P-salóide"	P-Al	P-Fe	P-red.	P-Ca	P-resid.
%						
1	5,28	33,35	15,79	41,58	3,20	0,77
2	3,43	34,33	18,77	37,92	2,42	3,13
3	4,28	33,27	18,24	40,46	2,93	0,82
4	4,58	34,70	21,33	35,44	2,27	1,68
5	6,75	41,77	8,94	38,23	3,16	1,15
6	5,58	43,28	7,25	39,48	2,41	2,00
Médias	4,98	36,78	15,05	38,85	2,73	1,59

TABELA 8

Teste de médias para avaliar a variação das formas de fósforo após colheita do material vegetal.

Formas de fósforo	Teste de Médias (ppm)		
	\bar{X}_1 (1)	\bar{X}_2 (1)	\bar{D} (2)
Solúvel em NH_4Cl			3,17 *
Ligado ao alumínio			19,91 **
Ligado ao ferro			1,70 n. s.
Solúvel em redutor			20,05 **
Ligado ao cálcio			2,08 **
Residual			3,82 n. s.
Inorgânico			7,22 *
Orgânico			7,07 n. s.
Disponível			47,30 **
Total			14,29 *

 \bar{X}_1 = média após o período de incubação; \bar{X}_2 = média após a colheita do material vegetal; \bar{D} = média maior menos média menor;

n. s. = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

TABELA 9

Participação do fósforo do solo e do fertilizante na formação do fósforo total da planta. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	Produção (g/vaso)		Fósforo Total Absorvido (mg/vaso)		% de P-Absorvido		Fósforo Absorvido do KH_2PO_4 (mg/vaso)	Eficiência KH_2PO_4 (%)
	Solo Natural	Solo Incubado	Solo Natural	Solo Incubado	Fósforo Nativo	Fósforo do Fertilizante		
1	7,6			10,49		77,5	8,13	1,4
2	9,9			9,09		72,7	6,61	1,1
3	10,10			11,26		88,5	9,97	1,7
4	10,50			8,37		68,6	5,74	0,95
5	10,8			16,47		80,3	13,23	2,2
6	8,9			11,10		80,0	8,87	1,5