

INFLUÊNCIA DE DOSES DE FÓSFORO E DE CULTIVOS SUCESSIVOS NOS NÍVEIS DE FRAÇÕES DE FÓSFORO INORGÂNICO, NA PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE VEGETAL ^{1/}

José Antônio Gonçalves ^{2/}

José Mário Braga ^{2/}

Antônio F. Castro Bahia Filho ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento do método de fracionamento de CHANG e JACKSON (11), muitos estudos têm sido realizados, com o objetivo de determinar a forma de fósforo que é, preferencialmente, absorvida pelo vegetal. Numa revisão sobre o assunto, NOVAIS (28) observa que não há unanimidade nos resultados obtidos, o que leva à conclusão de que todas as formas podem ser igualmente importantes na nutrição do vegetal, dependendo das características específicas do solo e do vegetal.

No estudo das relações entre as formas de fósforo e o vegetal, deve-se levar em consideração que a aplicação de fertilizantes fosfatados altera o equilíbrio natural e a relação das formas presentes no solo com o vegetal, mudando assim a forma de fósforo preferencialmente absorvida pelo vegetal (2, 12, 16, 34, 36, 40).

BIASI (7), comparando os resultados obtidos em diversos trabalhos, observou que, em solos cultivados sem adubação, a produção vegetal relacionou-se mais com as formas P-Al e P-H₂O, enquanto a absorção de fósforo apresentou maior re-

^{1/} Parte da tese do primeiro autor, apresentada como requisito para o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas da U.F.V.

Aceito para publicação em 8-5-1986.

^{2/} Departamento de Solos da UFV 36570 Viçosa, MG.

^{3/} CNPMS-EMBRAPA — CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

lação com as formas P-Al, P-Ca e P-H₂O. Com a adubação, verificou-se acentuada preferência pela forma P-Al, tanto em produção quanto em absorção, com alguma tendência de relacionamento com o P-Fe. Para as demais, não houve significância nas relações. Resultados idênticos foram obtidos por outros pesquisadores (4, 10, 13, 18, 30, 37).

Segundo SMITH (37), em solos recém-adubados, a planta tende a absorver preferencialmente o P-Al, ao passo que, em solos não adubados ou que não tenham recebido aplicação recente de fertilizantes, todas as frações podem ser utilizadas pelo vegetal. De acordo com HSU e JACKSON (19), essa preferência da planta pela forma P-Al, nos solos adubados, pode ser atribuída ao maior grau de solubilidade dessa forma. De fato, há indicações de que os fosfatos de alumínio cristalizam-se mais lentamente que os fosfatos de ferro (20). Como se sabe, os fosfatos de ferro e os fosfatos de cálcio podem encontrar-se numa condição amorfa e, nesse caso, o fósforo neles contido pode ser mais facilmente absorvido pelo vegetal. A cristalização desses fosfatos, porém, reduz drasticamente sua disponibilidade para o vegetal (8, 18, 22, 26, 31). Talvez isso possa justificar o melhor relacionamento da forma ligada ao alumínio com o vegetal, observado em diversos trabalhos. Todavia, as demais formas também podem relacionar-se, significativamente, com o vegetal. AL-ABBAS e BARBER (1), CHANG e JUO (13) e SINGH *et alii* (33) observaram que a forma P-Fe foi a que melhor se correlacionou com o fósforo absorvido pelo vegetal.

A forma de fósforo facilmente solúvel também pode ser uma importante fonte de fósforo para o vegetal, muito embora ocorra em quantidades muito pequenas, em relação às demais. Trabalhos realizados por FASSBENDER *et alii* (17), HALSTED (18) e PATEL e MEHTA (29) revelaram que essa forma foi a que apresentou melhor relacionamento com a absorção de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Resumidamente, BAHIA FILHO (5) utilizou a seguinte metodologia:

As amostras após caracterizadas e analisadas (Quadros 1, 2, 3) foram incubadas com CaCO₃ e MgCO₃, para elevar o pH a 6.5. Após o período de incubação, procedeu-se à adubação fosfatada, utilizando como fonte NaH₂PO₄ · H₂O, em quatro doses, aplicadas por via líquida e em quantidade dependente da capacidade de adsorção de cada solo. Após a aplicação, foram utilizados recipientes de plástico com 2 kg de material de solo em cada vaso. Nestes vasos foi semeado milheto (*Pennisetum typhoides*) cv 'CMS x MI'. Em outra série de vasos (1 kg de material de solo/vaso) nada foi semeado. Deixaram-se 25 plantas em cada vaso de milheto após o desbaste.

Durante o período experimental, foram feitos cinco cultivos sucessivos. Ao término de cada cultivo, procedia-se à colheita da parte aérea do milheto, que foi secado, pesado e analisado, para a determinação de fósforo. De todos os vasos foi retirada uma amostra de 100 g de material de solo, para as análises químicas.

Além das análises químicas, realizadas por BAHIA FILHO (5), foram determinadas as frações de fósforo inorgânico, de acordo com CHANG e JACKSON (11), conforme adaptação de BRAGA (9).

Nas análises estatísticas foram considerados os dados das frações P-Al, P-Fe e P-Ca, nos ensaios com e sem vegetal. Quanto à fração P-H₂O, decidiu-se pela não-inclusão da análise estatística, em vista da ocorrência, em alguns casos, de quantidades não detectáveis, pelo nível de sensibilidade do método analítico em-

QUADRO 1 - Classificação, identificação e procedência das amostras de material de solo utilizadas

Classe de Solo	Símbolo	Identifi- cação	Município do Estado de Minas Gerais
• Areia Quartzosa distrófica, A moderado, fase cerrado.	AQD	TM-5	Campina Verde
• Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, A moderado, textura média, fase cerrado subperenifólio, relevo plano e suave ondulado.	LEdm	TM-6	Ituiutaba
• Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, A moderado, textura média, fase cerrado subcaducifólio, relevo plano.	LEdm	TM-18	Campina Verde
• Latossolo Vermelho-Escuro epieutrófico, A proeminencifolia, relevo plano.	LEdr	TM-42	Iturama
• Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, A moderado, textura argilosa, fase floresta subperenifolia, relevo suave ondulado.	LEdr	TM-14	Douradoquara
• Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifolia, relevo suave ondulado.	LEdr	AP-C13	Patos de Minas
• Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, epialico, podzólico plúntico, A moderado, textura muito argilosa, fase campo tropical, relevo plano.	IVar	TM-56	Uberaba
• Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura muito argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano.	IVar	TM-67	Uberaba

Fonte: BAHIA FILHO (5).

QUADRO 2 - Características químicas das amostras de solo utilizadas

Características	Solos									
	TM-5	TM-6	TM-18	TM-42	TM-14	TM-56	AP-Cl3	TM-67		
pH em H ₂ O (1:2,5)	5,0	5,5	5,0	5,7	4,9	4,8	4,7	4,6		
pH em XCl (1:2,5)	4,2	5,0	4,3	5,2	4,2	4,4	4,2	4,2		
H ₃ ⁺ (meq/100g)	2,90	3,60	3,53	3,80	5,63	7,65	13,15	8,01		
Al ₂ ⁺ (meq/100g)	0,90	0,20	0,60	0,16	1,30	0,60	1,70	1,40		
Ca ₂ ⁺ (meq/100g)	0,40	2,90	0,98	5,68	0,37	0,20	0,54	0,13		
Mg (meq/100g)	0,43	1,17	0,48	1,69	0,25	0,10	0,26	0,05		
K ⁺ (meq/100g)	0,11	0,15	0,16	0,18	0,20	0,09	0,15	0,08		
Na ⁺ (meq/100g)	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003		
S (meq/100g)	0,94	4,22	1,62	7,56	0,82	0,39	0,95	0,26		
T (meq/100g)	4,74	8,02	5,75	11,52	7,75	8,64	15,80	9,67		
V (t)	20	53	28	66	11	4	6	3		
C. arg. (t)	0,99	1,22	0,91	1,83	1,49	1,83	3,08	1,81		
Ataque de H ₂ SO ₄										
Densidade 1,47										
SiO ₂ (t)	2,64	3,34	4,80	11,05	9,06	6,86	11,90	16,24		
Al ₂ O ₃ (t)	2,68	3,57	4,53	9,75	14,27	36,27	26,83	33,39		
Fe ₂ O ₃ (t)	3,74	4,09	8,28	7,24	11,03	12,43	14,97	11,88		
TiO ₂ (t)	0,63	1,05	1,49	1,43	1,30	1,47	2,58	1,41		

Fonte: BAHIA FILHO (5).

QUADRO 3 - Características físicas e classificação textural das amostras de solo utilizadas

Solo	Composição granulométrica (%)			Classificação textural	Equivalente de umidade (%)
	Areia grossa	Areia fina	Silte		
TM-5	15	67	10	areia franca	8
TM-6	28	54	8	franco-arenoso	8
TM-18	7	69	11	franco-arenoso	9
TM-42	28	27	18	franco-areno-argiloso	17
TM-14	14	32	17	argila arenosa	22
TM-56	11	5	20	argila pesada	27
AP-C13	2	4	25	argila pesada	33
TM-67	9	6	13	argila pesada	28

Fonte: BAHIA FILHO (5).

pregado, embora, nas situações em que foi possível a sua obtenção, os dados sejam apresentados e discutidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das frações de fósforo inorgânico ($P-H_2O$, P-Al, P-Fe e P-Ca), com e sem vegetal, durante todo o período experimental, estão nos Quadros 4, 5, 6 e 7.

Embora a obtenção dos dados, para a fração $P-H_2O$ (Quadro 5), tenha sido parcial, ainda assim é possível observar que as quantidades dessa fração decresceram ao longo dos sucessivos cultivos. Esses decréscimos eram esperados, uma vez que essa é a fração que apresenta disponibilidade imediata para o vegetal (21). Contudo, é possível notar que esses decréscimos foram mais pronunciados nos solos TM-5, TM-6, TM-18, TM-42 e TM-14, visto que nos solos TM-56, AP-C13 e TM-67 os níveis dessa fração, quando detectados, mantiveram-se praticamente inalterados nos sucessivos cultivos. Esses resultados podem ser explicados com base no fato de que níveis da fração $P-H_2O$ expressam de forma inversa o maior ou menor poder tamponante de fosfato do solo. Segundo BAHIA FILHO (5), os solos TM-56, AP-C13 e TM-67 apresentaram valores de capacidade tamponante de fosfato significativamente maiores, em relação aos demais solos. Assim, são justificáveis os baixos valores obtidos para a fração $P-H_2O$ nesses três solos. Como essa fração encontra-se em equilíbrio dinâmico com a elevada capacidade de reposição de fósforo em solução desses solos, a presença do vegetal aparentemente não alterou de forma significativa as quantidades dessa fração. Raciocínio inverso aplica-se aos solos restantes.

Já para as demais frações (Quadros 5, 6 e 7), verifica-se que a maior influência dos cultivos ocorreu na fração P-Al. Essa influência se traduziu por um decréscimo sistemático nas quantidades dessa fração, especialmente nos cultivos iniciais, como pode ser observado nos solos TM-18, TM-42, TM-14 do trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por outros pesquisadores (14, 23, 36), que também observaram decréscimo definido na fração P-Al em solos submetidos a cultivos. Esses resultados são justificáveis, em face da redução que se verifica na disponibilidade do fósforo aplicado no solo com o tempo. DEBNATH e MANDAI (15) sugerem que a redução da disponibilidade das frações de fósforo com o tempo possa ser devida à reorientação iônica dentro dos cristais de fosfato, seguida da desidratação e redução da superfície desses cristais. Essa situação pode ser mais bem avaliada através das estimativas dos coeficientes de correlação entre o fósforo removido e as frações de fósforo (Quadro 9).

Maior número de correlações significativas foi registrado para a fração P-Al, vindo em seguida a fração P-Fe e, por último, a fração P-Ca. Tais resultados, a princípio, permitem supor uma tendência de adsorção preferencial do P-Al pelo milheto, à semelhança do que tem sido comumente observado em diversos outros trabalhos (4, 6, 10, 22, 27, 30, 35, 39, 41). Todavia, algumas dúvidas têm sido levantadas quanto à viabilidade da análise de correlação para o estudo da relação entre as frações de fósforo e o fósforo absorvido pelo vegetal. Essas dúvidas dizem respeito, principalmente, ao fato de que o maior número de correlações significativas entre a fração P-Al e o fósforo absorvido pode não refletir exatamente o que ocorre no solo. De acordo com esse ponto de vista, é possível que o vegetal absorva o fósforo das frações P-Fe e P-Ca, via $P-H_2O$, ao mesmo tempo que ocorre um decréscimo na fração P-Al, resultante da transformação do fósforo dessa fração nas frações P-Fe e P-Ca. Se tal fato realmente ocorrer, a interpretação dos

QUADRO 4 - Trovas da fração do fósforo solúvel em NH_4Cl ($\text{P-H}_2\text{O}$) nos solos, com presença e ausência de vegetal, após cada período de cultivo e incubação^{1/}

Solo	Doses de P aplicadas	Presença de vegetal					Ausência de vegetal				
		Período experimental					Ausência de vegetal				
		1º	2º	3º	4º	5º	2º	3º	4º	5º	
	kg/ha	ppm P									
TM-5	60	1,8	0,1	-	-	-	0,2	0,5	0,3	-	-
	120	2,2	0,2	0,3	-	-	2,1	1,0	1,0	1,0	-
	240	4,7	2,2	1,4	0,4	0,1	4,6	3,7	3,9	2,3	-
	360	8,4	4,7	2,6	2,0	1,6	8,3	5,4	4,9	4,1	-
TM-6	60	2,9	0,2	0,2	-	0,8	2,1	1,7	1,6	1,2	-
	120	2,9	1,9	0,4	0,1	0,6	3,0	2,6	2,5	1,3	-
	240	7,6	4,7	2,1	0,7	0,1	8,7	6,9	6,5	4,9	-
	360	8,9	7,1	3,2	1,8	0,7	13,8	11,4	10,5	7,2	-
TM-18	60	0,4	0,2	0,2	-	-	0,9	0,5	0,2	-	-
	120	1,3	0,7	0,3	-	-	2,6	2,1	1,9	0,6	-
	280	5,0	5,3	1,5	0,4	0,1	4,6	5,4	5,1	3,6	-
	420	10,1	7,2	2,9	1,5	0,6	9,4	9,9	9,5	6,8	-
TM-42	60	1,2	-	-	-	-	0,2	0,5	0,7	-	-
	120	0,8	0,1	-	-	-	1,6	1,9	1,8	-	-
	240	2,8	1,4	0,2	-	-	4,6	5,0	4,5	2,5	-
	360	0,6	4,2	0,5	-	-	9,2	10,7	8,1	6,8	-
TM-14	60	0,2	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-
	120	0,2	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-	-
	240	0,4	0,4	0,1	0,1	-	0,2	0,2	0,2	-	-
	480	1,3	0,9	0,2	0,7	-	0,7	1,5	1,2	-	-
TM-56	60	0,2	0,4	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	120	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	240	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	360	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
AP-C13	60	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	120	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	240	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	360	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-
TM-67	60	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	120	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	240	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
	480	0,2	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-

^{1/} Média de três repetições com presença de vegetal e de duas repetições de laboratório com ausência de vegetal.

QUADRO 5 - Teores da fração de fósforo solúvel em NH_4F (P-Al) nos solos, com presença e ausência de vegetal, após cada período experimental de cultivo e incubação^{1/}.

Solo	Doses de P aplicadas	Presença de vegetal					Ausência de vegetal				
		10	20	30	40	50	20	30	40	50	
		Período experimental									
	kg/ha	ppm P									
TM-5	60	19,2	22,7	19,2	21,2	21,3	20,6	25,5	22,9	33,6	
	120	37,6	40,9	37,6	37,6	20,2	20,2	20,2	20,2	42,2	
	240	72,9	80,0	66,6	53,7	53,0	82,7	82,7	82,7	82,7	
	360	111,1	113,6	93,2	85,4	79,1	128,4	129,5	116,4	124,3	
TM-6	50	21,9	22,1	18,1	18,6	20,4	26,0	27,5	24,1	27,1	
	100	30,3	34,0	26,2	24,0	27,0	35,7	32,3	31,5	37,8	
	200	65,5	54,6	45,1	35,4	32,0	60,1	59,4	59,4	69,4	
	300	69,5	68,3	62,5	48,1	41,5	98,5	94,4	92,4	93,2	
TM-18	70	24,4	20,3	18,5	17,8	19,2	29,2	29,4	25,3	25,9	
	140	41,9	37,5	32,1	27,8	27,2	49,2	49,2	46,3	47,0	
	280	84,4	75,9	65,0	54,8	50,6	99,0	99,0	92,0	92,0	
	420	122,5	109,5	94,4	77,6	73,4	137,6	131,8	127,1	126,4	
TM-42	60	20,0	15,4	14,6	14,4	15,0	25,2	27,3	23,1	24,1	
	120	35,3	19,4	18,7	17,3	17,3	45,2	47,9	35,2	34,2	
	240	48,7	31,5	26,5	22,4	22,4	65,2	70,9	52,3	51,6	
	360	78,3	55,0	46,2	34,3	28,5	101,8	100,7	97,2	96,0	
TM-14	120	25,7	23,1	12,7	21,3	21,0	27,5	28,8	25,5	25,7	
	240	49,7	31,9	24,0	25,1	24,0	51,6	52,3	45,8	45,8	
	360	79,7	71,3	53,8	54,6	53,4	98,3	98,3	82,1	82,1	
	480	120,0	100,9	70,4	75,5	70,4	130,7	132,9	116,2	113,2	
TM-56	120	50,0	36,2	35,9	44,9	37,5	45,6	46,9	51,8	42,7	
	240	81,9	75,0	65,8	64,5	62,4	91,6	91,6	82,7	82,7	
	360	128,1	113,3	92,1	93,5	85,8	140,9	140,9	125,0	125,0	
	580	172,9	153,6	120,3	116,5	126,5	170,2	172,4	160,1	160,1	
AP-C-13	52	60,0	54,9	55,5	55,0	59,2	58,2	68,2	71,1	56,6	
	208	89,3	78,7	79,8	76,6	82,2	82,0	98,2	100,7	87,5	
	390	131,7	123,0	116,4	107,2	112,8	120,1	125,7	125,7	125,7	
	520	176,0	148,9	137,3	135,5	132,9	156,4	156,4	156,4	160,4	
TM-67	160	33,9	33,0	29,1	35,8	39,4	39,0	37,1	42,1	35,4	
	320	72,9	65,7	61,0	61,5	61,5	72,5	72,5	81,1	81,1	
	480	117,3	99,4	91,0	86,0	81,2	91,9	91,9	91,0	91,0	
	640	161,4	141,9	119,8	105,0	105,8	161,6	158,1	146,8	152,2	

1/ Média de três repetições com presença de vegetal e de duas repetições de laboratório com ausência de vegetal.

QUADRO 6 - Teores da fração de fósforo solúvel em NaOH (P-Fe) nos solos, com presença e ausência de vegetal, a pên cada período experimental de cultivo e incubação^{1/}

Solo	Doses de P aplicadas kg/ha	Presença de vegetal					Ausência de vegetal				
		Período experimental					Período experimental				
		1º	2º	3º	4º	5º	1º	2º	3º	4º	5º
		ppm P									
TM-5	60	15,0	26,2	9,7	10,6	15,2	20,2	10,0	11,4	18,5	18,5
	120	18,3	23,8	9,6	13,9	14,9	20,2	13,8	14,8	19,9	19,9
	240	25,0	27,8	17,9	18,7	24,9	25,0	18,8	22,9	27,0	27,0
	480	28,5	31,7	25,3	21,4	30,2	35,7	23,1	30,5	34,1	34,1
	50	25,0	25,4	22,1	15,0	23,9	25,0	20,0	21,9	25,5	25,5
TM-6	100	22,5	32,5	23,0	23,0	23,0	31,1	23,8	25,0	32,0	32,0
	200	25,8	46,0	30,8	20,8	33,2	35,7	29,0	32,4	37,1	37,1
	300	25,0	46,0	35,7	35,1	36,2	41,7	30,3	40,0	41,8	41,8
	70	13,3	24,4	20,8	19,5	20,1	25,0	20,0	21,9	25,5	25,5
	140	20,8	38,1	24,9	23,5	24,0	32,1	24,0	27,9	32,2	32,2
TM-18	280	25,0	40,5	34,6	33,5	34,0	42,1	30,9	39,8	40,2	40,2
	420	25,0	47,6	42,1	38,1	38,5	45,1	34,3	44,3	42,5	42,5
	60	28,9	38,9	28,4	30,0	28,5	46,6	29,1	36,6	59,6	59,6
	120	40,1	45,8	35,3	35,0	35,8	48,9	37,1	48,4	45,0	45,0
	240	44,1	49,2	41,9	41,0	39,9	51,0	40,2	56,4	64,5	64,5
TM-42	560	47,5	63,5	47,6	51,5	48,1	70,4	56,8	77,3	75,0	75,0
	120	46,5	45,2	40,7	38,0	41,7	53,4	43,3	47,5	51,9	51,9
	240	54,9	61,1	50,6	58,0	59,0	69,3	62,4	69,5	74,5	74,5
	360	69,1	73,8	73,3	73,3	69,9	80,6	80,2	86,1	84,1	84,1
	480	99,2	83,5	81,0	86,0	80,1	107,8	96,0	100,0	102,8	102,8
TM-56	170	102,5	90,5	91,2	93,0	88,0	109,1	95,7	103,4	104,2	104,2
	340	150,3	138,1	131,5	122,3	112,2	140,9	126,6	139,3	141,3	141,3
	510	159,1	174,4	144,2	150,7	143,8	164,5	152,0	164,5	167,9	167,9
	680	184,8	198,4	170,6	175,0	165,1	204,5	182,4	210,4	193,1	193,1
	52	225,0	219,8	193,1	196,2	186,0	244,8	193,8	212,5	212,0	212,0
AP-C13	208	269,2	241,5	210,6	231,8	220,5	255,8	228,1	244,5	245,0	245,0
	390	299,8	282,5	246,9	250,1	236,0	271,1	258,2	268,2	301,4	301,4
	520	325,8	307,9	281,1	297,5	280,4	335,0	311,1	317,5	311,9	311,9
	160	72,0	78,6	66,0	63,5	66,8	79,4	62,5	79,5	82,5	82,5
	320	103,0	111,1	97,2	98,4	98,1	109,1	97,7	109,1	110,6	110,6
TM-073	480	128,0	134,1	110,3	132,6	120,0	140,7	124,4	140,5	146,5	146,5
	640	144,7	146,8	129,3	155,0	131,8	169,0	141,0	159,3	153,8	153,8

^{1/} Média de três repetições com presença de vegetal e de duas repetições de laboratório com ausência de vegetal.

QUADRO 7 - Teores da fração de fósforo solúvel em H_2SO_4 (p- Ca) nos solos, com presença e ausência de vegetal, após cada período experimental de cultivo e incubação/L/

Solo	Doses de P aplicadas	Período experimental									
		Presença de vegetal					Ausência de vegetal				
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	2.º	3.º	4.º	5.º	5.º
	kg/ha						ppm P				
TM-5	60	4,5	3,8	3,8	3,8	3,7	5,9	4,5	4,5	4,2	4,2
	120	5,0	4,1	4,3	4,3	4,2	5,8	4,8	4,1	4,6	4,6
	240	4,8	4,3	5,0	5,0	4,7	5,2	5,1	4,7	4,8	4,8
	360	5,8	4,9	5,2	5,5	6,0	5,2	5,4	5,0	7,8	7,0
TM-6	50	12,5	9,4	10,0	9,8	10,4	8,9	10,0	10,7	10,4	10,4
	100	15,5	8,6	12,0	12,1	12,6	9,8	11,4	11,7	11,6	11,6
	200	15,2	8,9	14,4	13,1	12,6	10,2	11,5	12,4	12,5	12,5
	360	11,8	9,5	14,8	10,8	12,2	10,2	11,5	15,4	15,0	15,0
TM-18	70	10,2	4,8	10,2	4,8	6,8	6,8	9,8	8,1	8,4	8,4
	140	10,6	5,2	8,0	5,2	7,4	12,2	10,2	9,8	9,3	9,3
	280	10,5	9,7	7,3	8,0	6,5	13,6	11,9	9,6	10,9	10,9
	420	15,3	9,4	9,0	8,5	10,8	13,6	11,9	9,7	11,7	11,7
TM-42	60	9,6	9,7	9,9	10,9	12,1	15,2	14,9	13,7	14,4	14,4
	120	14,3	10,0	12,2	11,8	16,6	15,6	15,6	14,4	14,9	14,9
	240	14,7	12,2	16,1	11,2	21,0	21,6	19,8	16,6	18,3	18,3
	360	18,3	11,3	17,7	11,2	24,5	23,9	20,8	20,8	23,3	23,3
TM-14	120	5,3	5,2	5,7	6,0	9,3	9,2	7,4	6,8	7,9	7,9
	240	8,6	6,2	7,2	7,6	12,1	13,6	10,5	10,5	10,3	10,3
	360	9,6	11,9	9,2	10,9	12,8	13,6	12,1	12,1	15,2	15,2
	480	9,7	20,8	11,1	14,9	15,9	13,6	11,7	12,1	15,2	15,2
TM-56	170	7,0	13,6	6,9	8,4	9,5	7,5	7,9	7,9	9,7	9,7
	340	8,8	15,0	8,8	11,0	12,5	10,2	10,2	10,2	12,1	12,1
	510	9,1	10,2	10,0	11,9	12,0	10,2	10,2	10,2	14,2	14,2
	580	9,5	11,3	11,1	14,6	14,6	10,2	10,2	14,2	16,5	16,5
AP-C13	52	24,1	47,5	24,0	29,7	29,8	30,0	35,2	34,9	27,4	27,4
	208	23,1	47,0	26,4	31,6	35,0	32,0	35,2	34,9	27,4	27,4
	300	27,0	51,3	28,8	35,0	35,0	32,0	35,2	34,9	27,4	27,4
	520	30,2	58,4	30,0	37,7	40,7	32,0	35,2	34,9	27,4	27,4
TM-67	160	4,5	5,4	5,3	7,4	7,0	5,4	9,2	6,5	8,6	8,6
	320	5,6	7,1	7,3	9,7	8,5	5,4	10,6	12,1	14,3	14,3
	480	7,4	8,4	7,3	11,7	10,0	9,5	11,4	13,4	14,3	14,3
	640	8,9	10,9	8,3	15,1	10,4	9,5	11,4	13,4	14,3	14,3

L/ Média de três repetições com presença de vegetal e de duas repetições do laboratório com ausência de vegetal.

QUADRO 8 - Quantidades de fósforo na parte aérea do milheto, após cada cultivo, de acordo com as doses de fósforo aplicadas em cada material de solo^{1/}

Solo	Doses de P aplicadas	Quantidade de fósforo em cada cultivo				
		kg/ha	mg P/vaso			
TM-5	60	8,35	2,72	2,83	1,03	1,48
	120	12,97	5,81	6,68	4,06	2,95
	240	23,67	9,34	9,27	10,17	7,32
	360	35,37	15,08	13,50	16,83	10,58
TM-6	50	12,69	6,75	4,62	2,87	3,43
	100	17,72	9,70	6,76	5,90	4,90
	200	29,71	16,77	11,20	11,55	8,01
	300	50,02	23,72	16,26	19,32	12,26
TM-18	70	12,85	7,00	3,46	2,43	2,18
	140	19,47	10,86	6,46	6,24	4,48
	280	34,41	18,06	12,21	13,53	9,27
	420	54,81	26,71	18,79	18,52	14,27
TM-42	60	13,82	6,97	2,62	3,29	3,48
	120	26,84	11,89	5,35	4,12	4,94
	240	40,83	24,64	11,38	6,19	6,27
	360	78,99	35,94	10,52	12,39	9,70
TM-14	120	13,23	3,50	1,46	0,85	1,12
	240	23,20	7,92	3,70	2,24	2,93
	360	40,02	11,14	9,55	5,18	4,59
	480	38,01	15,21	13,24	8,57	7,27
TM-56	170	10,87	2,50	0,40	0,52	0,52
	340	25,47	5,73	0,93	1,36	1,20
	510	40,73	13,38	2,88	2,68	4,29
	680	59,99	19,48	8,76	6,59	5,54
AP-C13	52	9,82	1,66	1,61	1,67	0,76
	208	16,46	3,31	3,53	1,35	2,34
	390	28,66	5,36	3,05	3,60	6,34
	520	37,83	8,57	3,09	5,63	10,05
TM-67	160	10,91	1,53	0,52	0,52	0,58
	320	27,10	8,58	1,63	1,76	1,97
	480	47,37	13,97	4,84	5,15	4,20
	640	66,42	22,47	10,88	8,33	6,52

Fonte: BAHIA FILHO (5).

1 - Média de três repetições.

QUADRO 9 - Estimativas dos coeficientes de correlação entre quantidades de fósforo na parte aérea do milho e frações de fósforo inorgânico

Solo	Cultivo	P-Al	P-Fe	P-Ca
TM-5	1º	0,999 **	0,981 **	0,865 ns
	2º	0,991 **	0,856 ns	0,927 ns
	3º	0,975 *	0,932 ns	0,906 ns
	4º	0,995 **	0,870 ns	0,849 ns
	5º	0,995 **	0,998 **	0,881 ns
TM-6	1º	0,914 ns	0,367 ns	0,788 ns
	2º	0,991 **	0,909 ns	0,394 ns
	3º	0,999 **	0,970 *	0,968 *
	4º	0,999 **	0,970 *	0,968 *
	5º	0,991 **	0,983 *	0,845 ns
TM-18	1º	0,995 **	0,813 ns	0,887 ns
	2º	0,998 **	0,909 ns	0,885 ns
	3º	1,000 **	0,996 **	0,305 ns
	4º	0,996 **	1,000 **	0,431 ns
	5º	0,999 **	0,985 *	0,993 **
TM-42	1º	0,996 **	0,851 ns	0,927 ns
	2º	0,968 *	0,961 *	0,765 ns
	3º	0,993 **	0,962 *	0,946 *
	4º	0,998 **	0,978 *	0,984 *
	5º	0,988 *	0,976 *	0,934 ns
TM-14	1º	0,885 ns	0,802 ns	0,917 ns
	2º	0,997 **	0,995 **	0,937 ns
	3º	0,990 *	0,963 *	0,993 **
	4º	0,996 **	0,969 *	1,000 **
	5º	0,995 **	0,981 *	0,984 *
TM-56	1º	0,999 **	0,996 **	0,900 ns
	2º	0,971 **	0,931 ns	0,531 ns
	3º	0,907 ns	0,897 ns	0,852 ns
	4º	0,717 ns	0,924 ns	0,914 ns
	5º	0,972 *	0,985 *	0,860 ns
AP-C13	1º	0,998 **	0,977 *	0,899 ns
	2º	0,979 **	0,981 *	0,962 *
	3º	0,582 ns	0,582 ns	0,660 ns
	4º	0,946 ns	0,917 ns	0,955 *
	5º	0,986 *	0,951 *	0,929 ns
TM-67	1º	1,000 **	0,986 *	0,998 **
	2º	0,999 **	0,969 *	0,996 **
	3º	0,942 ns	0,943 ns	0,865 ns
	4º	0,973 *	0,980 *	0,961 *
	5º	0,994 **	0,992 **	0,951 *

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns - Não-significativo.

resultados obtidos será equivocada. No entanto, de acordo com MACKENZIE (25), a maior absorção de fósforo da fração P-Al é bastante justificável, uma vez que se acredita que esta é a fração que se encontra em equilíbrio com o fósforo em solução. Posto que o vegetal absorve o fósforo na forma solúvel em água, o P-Al pode representar a fonte principal dessa forma de fósforo, como foi verificado por SMITH (38).

Nos tratamentos sem vegetal, os baixos valores e na ausência de variações significativa nas quantidades obtidas, as frações P-H₂O e P-Ca não são consideradas. Quanto à fração P-Al, a similaridade de comportamento entre as diferentes doses e períodos de incubação permite dividir os solos em dois grupos distintos, o primeiro constituído pelos solos TM-5, TM-6, TM-18, TM-42 e TM-14 e o segundo pelos solos TM-56, AP-C13 e TM-67. A fração P-Fe, por sua vez, apresentou um padrão único de comportamento em todos os solos. Diante disso, o comportamento da fração P-Al nos solos TM-5 e TM-56 pode ser considerado representativo do que ocorre. Com relação à fração P-Al do solo TM-5, nota-se que, após o acréscimo registrado até os 92 dias de incubação, correspondentes ao terceiro cultivo, há um decréscimo aos 124 dias, seguido de uma tendência de estabilização no final do ensaio, principalmente para as menores doses de fósforo. No solo TM-56, por sua vez, os acréscimos se verificaram até aos 124 dias. Por outro lado, para a fração P-Fe, há um decréscimo sistemático até 92 dias após o início da incubação, que reverte em seguida para a situação de acréscimo. Esses resultados, a princípio, parecem não confirmar a tendência de diminuição da fração P-Al e aumento da fração P-Fe com o tempo, em vista da menor solubilidade dessa última, como já foi observado (3, 15, 32, 34, 37).

Situação peculiar ocorre no solo TM-56, visto que os acréscimos na fração P-Al atingiram o máximo aos 124 dias, coincidindo já com acréscimos na fração P-Fe. A explicação para isso, além dos fatores mencionados, talvez seja a aplicação de maiores quantidades de corretivo (mistura de CaCO₃ e MgCO₃) nos solos TM-56, AP-C13 e TM-67, para elevar-lhes o pH para 6,5 (5). Assim, a atividade microbiana pode ter sido mais intensa, resultando numa maior mineralização do fósforo orgânico e sua conseqüente transformação na fração P-Al. Outro aspecto importante foi que houve pouca correspondência entre os decréscimos registrados na fração P-Al e os acréscimos na fração P-Fe aos 154 dias. Conseqüentemente, é válido afirmar que os decréscimos da fração P-Al se devem mais ao processo de oclusão do que à transformação do P-Al em P-Fe.

Para os solos do primeiro grupo, salvo algumas exceções, a tendência generalizada de estabilização para a fração P-Al, aos 154 dias, não coincide com a tendência de acréscimos para a fração P-Fe, o que sugere que pode ter havido uma solubilização do fósforo da fração oclusa para o P-Fe, tal como foi observado por MACK e BARBER (24).

4. RESUMO E CONCLUSÃO

O presente trabalho é continuação do trabalho realizado por BAHIA FILHO (5). Além da metodologia usada naquele trabalho, as amostras de solo coletadas após cada cultivo foram analisadas quimicamente, para a obtenção das frações de fósforo inorgânico.

Os resultados da análise química do fracionamento foram relacionados com a quantidade de fósforo absorvida pelo vegetal cultivado.

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

As variações registradas nas quantidades das frações P-Al e P-Fe não eviden-

ciaram uma tendência única de decréscimo (mutuamente exclusivo) ou acréscimo durante os períodos de incubação.

A fração P-Al foi a que melhor se correlacionou com o fósforo absorvido, seguida das frações P-Fe e P-Ca.

5. SUMMARY

(A COMPARATIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS DOSES AND SUCCESSIVE CULTIVATION ON THE LEVELS OF INORGANIC FRACTIONS, WITH AND WITHOUT PLANTS)

This study is based on Bahia Filho's data as well as on chemically analyzed soil samples collected after each period of cultivation in order to obtain inorganic phosphorus fractions.

The following conclusions were drawn from the obtained results:

The recorded variations in the fractional quantities P-Al and P-Fe did not show a unique tendency (decreasing or increasing) during the incubation period.

The fraction P-Al presented the highest correlation coefficient with the absorbed phosphorus, followed by P-Fe and P-Ca fractions.

6. LITERATURA CITADA

1. AL-ABBAS, A.H. & BARBER, S.A. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. 1. Correlation of soil phosphorus fraction with plant-available phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:218-221, 1964.
2. ALBAN, L.A.; CACHAROTAUAN, S. & JACKSON, T.L. Phosphorus availability in Reddish Brown Lateritic Soils. 1. Laboratory studies. *Agron. J.* 56:555-558, 1964.
3. APPELT, H. & SCHALSCHA, E.B. Effect of added phosphorus on the inorganic phosphorus fractions of soils derived from volcanic ash. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:559-602, 1970.
4. BAHIA FILHO, A.F.C. *Fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo disponível e crescimento vegetal*. Viçosa, UFV, 1964. 69 p. (Tese de M.S.).
5. BAHIA FILHO, A.F.C. *Índices de disponibilidade do fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas*. Viçosa, UFV, 1982. 179 p. (Tese de D.S.).
6. BASAK, M.N. & BHATTACHARYA, R. Phosphate transformation in rice soils. *Soil Sci.*, 92:258-262, 1962.
7. BIASI, J. *Avaliação do fósforo relacionado a diversos extratores químicos em solos de Santa Catarina*. Piracicaba, ESALQ, 1978, 181 p. (Tese de M.S.).
8. BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. Trad. de Antônio B. Neiva Figueiredo F.º. 5.ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1979. 647 p.

9. BRAGA, J.M. Adaptação do método de fracionamento em trabalhos de rotina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 7.^a, Itabuna, 1972. Anais, Itabuna, CEPLAC, 1972. pp. 82-83.
10. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e planta. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.
11. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84:133-144, 1957.
12. CHANG, S.C. & CHU, W.K. The fate of phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.*, 12:286-293, 1961.
13. CHANG, S.C. & JUO, S.R. Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soil. *Soil Sci.* 95:91-95, 1963.
14. CLARK, J.S. & PEECH, M. Solubility criteria for the existence of calcium and aluminium phosphates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 19:171-175, 1955.
15. DEBNATH, N.C. & MANDAL, S.K. Inorganic transformation of added phosphorus in soil and the relative availability of the reaction products as influenced by ageing. *Agrochimica*, 26:293-304, 1982.
16. FASSBENDER, H.W. Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri Digest*, 18:20-28, 1969.
17. FASSBENDER, H.W., MULLER, L. & BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba*, 18:333-347, 1968.
18. HALSTEAD, R.L. Chemical availability of native and applied phosphorus in soils and their textural fractions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:414-419, 1967.
19. HSU, P.H. & JACKSON, M.L. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering in soil as influenced by pH. *Soil Sci.*, 99:398-402, 1960.
20. JUO, A.S.R. & ELLIS, B.C. Chemical and physical properties of iron and aluminium phosphate and their relation to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:216-221, 1968.
21. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Adv. Agron.*, 19:151-210, 1967.
22. LAVERTY, J.C. & MACLEAN, E.O. Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops. 3. Kinds of phosphate-native, applied and formed. *Soil Sci.*, 91:166-171, 1961.
23. LINDSAY, W.L.; PEECH, M. & CLARK, J.S. Determination of aluminium ion activity in soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23:266-269, 1959.
24. MACK, A.R. & BARBER, S.A. Influence of temperature and moisture on soil phosphorus. I. Effect on soil phosphorus fractions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:381-385, 1960.

25. MACKENZIE, A.F. Inorganic soil phosphorus fractions of some Ontario soils as studies using isotopic exchange and solubility criteria. *Can. J. Soil Sci.*, 42:150-155, 1962.
26. MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola. Adubos e Adubação*. 3.^a ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 596 p.
27. MORILLO M.E. & FASSBENDER, H.W. Formas y disponibilidad de fosfato de los suelos de la Cuenca baja del Río Choluteca, Honduras *Turrialba*, 18: 26-33, 1968.
28. NOVAIS, R.F. *Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils*. Raleigh, Nort Carolina State University, 1977. 153 p. (Tese de Ph.D.).
29. PATEL, J.M. & METHA, B.V. Soil phosphorus fractionation studies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25:190-192, 1961.
30. PAYNE, H. & HANNA, W.J. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. *J. Agr. Food. Chem.*, 13:322-326, 1965.
31. SHAPIRO, R.E. Effect of organic matter and flooding on availability of soil and sinthetic phosphorus. *Soil Sci.* 85:267-272, 1958.
32. SHELTON, J.E. & COLEMAN, N.T. Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:91-94, 1968.
33. SINGH, R.N.; MARTENS, D.C. & OBENSHAIN, S.S. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. *Soil Sci. Am. Proc.*, 30:617-620, 1966.
34. SINGH, R.N. & RAM, H. Effect of organic matter on the transformation of inorganic phosphorus in soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 25:118-121, 1977.
35. SINGHANIA, R.A. & GOSWANI, N.N. Transformation of applied phosphorus in soils under rice-wheat cropping sequence. *Pl. Soil.*, 50:527-535, 1978.
36. SMITH, A.N. Distinction between iron and aluminium phosphate in CHANG and JACKSON's procedure for fractionating inorganic soil phosphorus. *Agrochimica*, 9:162-168, 1965.
37. SMITH, A.N. The role of inorganic soil phosphate in supplying phosphorus to the wheat plant. *Agrochimica*, 11:79-91, 1966.
38. SMITH, A.N. Fractionation of inorganic phosphorus in soils. The CHANG and JACKSON's fractionation procedure: its limitation and uses. *Agri. Digest*, 17: 10-19, 1969.
39. SUSUKI, A.; LAWTON, K. & DOLL, E.C. Phosphorus uptake and soil test as related to forms of phosphorus in some Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:401-403, 1963.

40. YUAN, T.L.; ROBERTSON, T.K. & NELLER, S.R. Forms of newly fixed phosphorus in thee acid sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:447-450, 1960.
41. ZUBRISKI, J.C. Relationships between forms of soil phosphorus, some indexes of phosphorus, availability and growth of sudangrass in greehouse trials. *Agron. J.*, 63:421-425, 1971.