

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E
CORRELAÇÕES ENTRE FORMAS E QUANTIDADES ABSORVIDAS
PELO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)
EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Andrê M. Louis Neptune*
Alfredo J. Lopez Perez **

RESUMO

Procurou-se, em casa de vegetação, com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) respostas a quatro níveis de fósforo aplicado em cinco solos do Estado de São Paulo, a saber: Areia Quartzosa, ordem Entissol; Podzólico Vermelho Amarelo (2), ordem Ultissol; Latossolo Roxo, ordem Oxissol e Terra Roxa Estruturada, ordem Alfissol. Fizeram-se as correlações pertinentes e as seguintes conclusões foram tiradas: 1. Houve resposta significativa ao fósforo adicionado aos

*Universidade de S.Paulo-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-Campus de Piracicaba-Caixa Postal 9-13.400-Piracicaba, SP-Brasil

**Universidad del Tachira-San Cristobal-Venezuela

solos; 2. A utilização efetiva do fósforo pela leguminosa foi baixa; 3. As melhores correlações do P solúvel com a matéria vegetal seca (MVA) e o P total na MVS foram obtidas com os extratores H_2SO_4 0,05 N (método do IAC) e H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N (método de Mehlich ($r=0,94^{**}$), e 4. Os dois extratores usados para o P orgânico deram correlações similares com a MVS e o P total nesta MVS ($r=0,69^{**}$).

INTRODUÇÃO

De acordo com OLSEN e FRIED (1957), durante o período de rápido crescimento, o fósforo na solução do solo pode ser renovado, a partir da fase sólida, em dez ou mais vezes ao dia em solos férteis, podendo atingir até 500 vezes o teor inicial, porém, 0,1 ppm na solução do solo é suficiente.

Como nem todo o fósforo presente no solo é considerado disponível para as plantas, diferentes métodos têm sido empregados para medir a capacidade de um solo em suprir com este elemento as necessidades do vegetal. Tais métodos podem ser químicos, biológicos ou microbiológicos, com ou sem auxílio de isótopos marcados.

O fósforo "solúvel" é chamado também de fósforo "disponível", o qual não é muito correto, já que a disponibilidade dada por um extrator nem sempre é igual a quantidade disponível para a planta.

Sabe-se que o método biológico é o mais apropriado, porque a própria planta serve como indicadora de suas necessidades. Como não é possível o seu uso em

análise de rotina, então utilizam-se os métodos químicos, devido à facilidade, rapidez e economia com que se pode obter um diagnóstico (IVANOV, 1970).

No entanto, a quantidade de trabalhos técnicos sobre comparação entre extratores químicos, para a determinação de fósforo solúvel, e testes de avaliação em casa de vegetação ou campo, cresce continuamente, sugerindo que, de forma geral, a melhor técnica de extração ainda não existe (CHANG, 1965).

Em referência ao fósforo orgânico e fósforo total, os trabalhos feitos correlacionando a quantidade de fósforo no solo, com a real absorção do mesmo pela planta, tem sido poucos.

Assim, o presente trabalho, conduzido em laboratório e em casa de vegetação, teve como objetivo estudar o efeito do fósforo nativo e de doses de fósforo adicionado em cinco solos do Estado de São Paulo, na produção de material vegetal seca das plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e na quantidade de fósforo absorvido por estas plantas como também estabelecer correlações entre formas de fósforo: solúvel, orgânica e total e estes dois parâmetros citados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Solos

Foram utilizados cinco solos do Estado de São Paulo, a saber:

- a. Terra Roxa Estruturada (TRE): ordem Alfissol
- b. Podzólico Vermelho Amarelo, variação Piracicaba (PVq): ordem Ultissol

- c. Latossolo Roxo, série Iracema (LR): ordem Oxis-sol.
- d. Podzólico Vermelho Amarelo, varia o Laras (PVls): ordem Ultissol.
- e. Areia Quartzosa (AQ), cerrado: ordem Entissol.

Todos os solos foram coletados a uma profundidade entre 0 e 25 cm e postos a secar ao ar. Amostras com postas foram peneiradas (Peneira 18) e pequenas porões das mesmas foram tomadas para análise química, análise granulométrica e determina o de umidade, no Laboratório de Solos, do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ.

Métodos de Análise Química para Fósforo

Para os diferentes solos, utilizaram-se os seguintes métodos de análise química para cada classe de fósforo:

Fosforo total

- Digestão com  cido Perclórico (HClO_4) concentrado (SOMMERS e NELSON, 1972).
- Fusão com Carbonato de Sódio (Na_2CO_3) e posterior extra o com  cido Sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (JACKSON, 1970).
- Digestão com  cidos Clorídrico (HCl), N trico (HNO_3) e Sulfúrico (H_2SO_4) (CATANI e BATAGLIA, 1968).

Fósforo Solúvel

- Método de Bray P-1 (BRAY e KURTZ, 1945), com soluço extratora de Fluoreto de Am nio (NH_4F) 0,03 N e  cido Clorídrico (HCl) 0,025 N, com rela o solo: extrator 1:20 e 5 minutos de tempo

de agitação.

- Método de Bray P-2 (BRAY e KURTZ, 1945), com solução extratora de Fluoreto de Amônio (NH_4F) 0,03 N e Ácido Clorídrico (HCl) 0,1 N, com relação solo: extrator 1:20, e tempo de agitação de 1 minuto.
- Método de Mehlich (MEHLICH, 1953), com solução extratora de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 0,025 N e Ácido Clorídrico (HCl) 0,05 N, sendo a relação solo : extrator de 1:20, e o tempo de agitação de 5 minutos. Este método é conhecido também como Método da Carolina do Norte.
- Método do Instituto Agrônomo, Campinas, SP (CATANI et alii, 1955), com solução extratora de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 0,05 N, relação solo: extrator de 1:20, e tempo de agitação de 15 minutos.
- Método de Olsen (OLSEN et alii, 1954), com solução extratora de Bicarbonato de Sódio (NaCO_3H) 0,05 M a pH 8,5, relação solo: extrator 1:20, e tempo de agitação de 30 minutos. Foram adicionadas 3 gramas de carvão livre de fósforo para cada extração.

Fósforo Orgânico

- Método de extração com Ácido Clorídrico (HCl) e Hidróxido de Sódio (NaOH), (MEHTA et alii, 1954).
- Método de Ignição, e posterior extração com Ácido Sulfúrico (SAUNDERS e WILLIAMS, 1954).

Em todos os casos, o fósforo foi determinado fotocolorimetricamente no aparelho de Klett-Summerson, a 660 m μ , pelo método do Azul Sulfomolibdico, modificado

por MURPHY e RILEY (1962).

Experiências em casa de vegetação

Foi usada uma leguminosa: Feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.), variedade Iguaçu a qual se cultivou em vasos de 3 litros de capacidade.

O experimento constou de quatro tratamentos com quatro níveis de fósforo, e três repetições para cada um dos tratamentos. Os níveis de fósforo foram os seguintes:

P ₀ :	0 kg	de P ₂ O ₅ /ha =	0 ppm de P
P ₁ :	50 kg	de P ₂ O ₅ /ha =	10,92 ppm de P
P ₂ :	100 kg	de P ₂ O ₅ /ha =	21,84 ppm de P
P ₃ :	150 kg	de P ₂ O ₅ /ha =	32,76 ppm de P

A fonte de fósforo foi Superfosfato-Simples, com 17,22% de P₂O₅ solúvel em água.

Cada vaso recebeu uma adubação básica N K. Os níveis de Nitrogênio e Potássio no plantio, para as duas culturas, foram de 60 kg N/ha e 75 kg K₂O/ha.

A fonte de Nitrogênio foi uréia com 45 % de Nitrogênio, e a de Potássio foi Cloreto de Potássio com 60% de K₂O.

Foram plantadas 5 sementes em cada vaso, fazendo-se o desbaste aos 7 dias, deixando três plântulas por vaso. Após um período de 60 dias, as plantas foram cortadas a 0,5 cm da superfície do solo, e postas a secar em estufa a 70°C.

Posteriormente pesou-se a matéria vegetal até peso constante em três pesadas consecutivas, moendo-se posteriormente o material vegetal seco, em micro moinho Wiley, peneira nº 20.

Fósforo total na matéria vegetal seca.

Para determinar o fósforo na matéria vegetal seca (MVS), foram pesadas 500 mg de MVS moída de milho e 250 mg de MVS moída de feijoeiro, procedendo-se a digestão nitricoperclórica, e determinação posterior do fósforo pelo método do Vanado-Molibdato (HESSE, 1971).

Análise Estatística

O experimento foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, para cinco solos diferentes. Os cálculos foram feitos na calculadora Texas "TI Programmable 59", com unidade impressora Texas PC-100C. As análises de variância foram feitas conforme PIMENTEL GOMES (1970), e as provas de significância estatística, através do Teste de F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Química e Mecânica de Solos

Os resultados das análises químicas feitas nos diferentes solos, estão apresentados na Tabela I.

Os solos AQ e PVls apresentam acidez mediana e forte respectivamente; teores baixos de C%, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, assim como níveis não toleráveis de Al³⁺.

Os solos LR e PVp, apresentam-se medianamente aci

Tabela 1- Análise química dos solos.

Solo	pH	C.Org. %	Teor trocável em mEq/100 g de terra					P ppm
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	
AQ	5,1	0,12	0,03	0,21	0,07	0,28	2,80	1,17
PV1s	4,8	0,33	0,08	0,48	0,22	1,00	4,24	8,82
LR	5,1	2,16	0,13	5,24	2,16	0,16	6,08	2,90
PVp	5,4	1,50	0,30	3,86	1,91	0,24	5,44	14,40
TRE	5,5	1,44	0,75	4,36	1,58	0,08	5,60	20,30

dos, sendo que o LR apresenta teores altos de C%, médio de K⁺, e alto de Ca²⁺ e Mg²⁺, sendo o Al³⁺ tolerável; o PVp apresenta alto teor de C%, teores médios de K⁺ e Ca²⁺ e alto teor de Mg²⁺, sendo o Al³⁺ tolerável.

A TRE apresenta acidez fraca, teores altos de C%, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, tendo teor tolerável de Al³⁺.

Quanto ao teor de P solúvel ou P disponível, os solos AQ e TR apresentam teores muito baixos, os solos PVIs e PVp teores médios e o solo TRE, teor alto. O extrator para a determinação do P solúvel foi o H₂SO₄ - 0,05 N.

Os resultados das análises granulométricas dos solos, assim como o seu conteúdo de umidade, estão apresentados na Tabela 2.

Segundo estes dados, a classificação textural dos solos é a seguinte:

AQ : Areia
PVIs : Franco-Arenoso
LR : Argilo-Limoso
PVp e TRE : Argilosos.

Matéria Vegetal Seca (MVS) e Fósforo total na MVS.

Na Tabela 3, tem-se os resultados de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Total na MVS, obtido após 60 dias de plantio.

Os dados desta Tabela, observa-se que a quantidade de Matéria Vegetal Seca, e de Fósforo Total, aumentou com a quantidade de fósforo adicionado ao solo, para todos os solos.

Quanto aos níveis de fósforo adicionado ao solo, e a quantidade de matéria vegetal seca produzida em cada

Tabela 2- Análise granulométrica e umidade dos solos.

Solo	Análise mecânica (%), Pipeta, Calgon.				Umidade (%)
	Areia	Limo	Argila		
			< 0,002	Disp.em H ₂ O	
AQ	94,4	2,1	3,1	1,5	0,1
PV1s	81,7	10,4	7,9	2,9	0,1
LR	19,4	37,5	43,1	28,8	4,8
PVp	17,6	27,7	54,7	33,1	2,0
TRE	23,6	26,7	49,7	24,4	2,0

Tabela 3- Matéria Vegetal Seca, e fósforo total na MVS, obtido em feijoeiro cultivado em cinco solos do Estado de São Paulo, a diferentes níveis de fósforo adicionado (Pa).

Pa (ppm)	S O L O S											
	AQ		PV/Is		L.R		PVP		TRE		MVS (g)	Pt (mg)
	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)	MVS (g)	Pt (mg)		
0	0,63a1	0,30a1	0,78a1	0,42a1	1,37a2	0,55a2	3,62a3	1,99a3	6,30a4	4,91a4		
10,92	2,02b1	1,39b1	2,49b1	1,86b1	4,05b2	2,99b2	6,70b3	3,94b3	7,05b3	5,76b4		
21,84	3,30c1	2,24c1	3,85c1	2,98c2	6,48c2	5,28c3	7,93c3	5,31c3	7,62b3	6,36c4		
32,76	3,93c1	2,93d1	4,79d1	3,90d2	7,53d2	6,35d2	8,63c3	6,44c3	8,30c3	7,05d4		
Entre níveis para cada solo												
DMS (5%)	0,85	0,40	0,68	0,20	0,78	0,45	0,64	1,72	0,69	0,50		
C.V. (%)	11,25	7,43	2,63	2,94	5,26	3,87	3,11	12,74	3,00	2,70		
F	60,57	165,65	133,80	1129,44	249,11	642,67	232,49	25,88	23,95	68,41		
Entre solos para cada nível												
Pa (ppm)	MVS			Pt			F			CV (%)		
	DMS (5%)	CV (%)	F	DMS (5%)	CV (%)	F	DMS (5%)	CV (%)	DMS (5%)	CV (%)	F	
0	0,46	5,69	592,16	0,29	0,15	938,75						
10,92	0,88	6,23	151,00	0,48	4,74	285,94						
21,84	0,68	3,67	215,31	0,47	3,36	146,77						
32,76	0,87	4,16	123,14	0,54	3,17	243,75						

Em cada série de valores verticais, os seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Em cada série de valores horizontais, os seguidos pelo mesmo número não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

um dos diferentes solos, tem-se as seguintes seqüência:

$$P_0 \text{ e } P_1 : \text{TRE} > \text{PVp} > \text{LR} > \text{PVls} = \text{AQ}$$

$$P_2 \text{ e } P_3 : \text{PVp} = \text{TRE} > \text{LR} > \text{PVls} = \text{AQ}$$

Encontrou-se diferença estatística significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre as quantidades de MVS produzidas aos níveis P_0 e P_1 de fósforo adicionado, em todos os solos. No PVls e LR, apresentou-se diferença estatística significativa entre todos os níveis de P adicionado. Na AQ e PVp, não se apresentou diferença estatística significativa na quantidade de MVS produzida nos níveis P_2 e P_3 de fósforo adicionado. Na TRE, não se apresentou diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzida aos níveis P_1 e P_2 de fósforo adicionado ao solo.

Com referência as quantidades de MVS produzidas nos diferentes solos, verificou-se que, para todos os níveis de P adicionado, não se encontrou diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzida na AQ e no PVls. Encontrou-se diferença estatística significativa, para a MVS produzida ao nível P_0 , entre os solos PVp e TRE; ao nível P_3 , não se encontrou diferença estatística significativa, nas quantidades de MVS produzida nesses dois solos; aos níveis P_1 e P_2 , encontrou-se diferença estatística significativa entre as quantidades de MVS produzidas nos solos LR e PVp, mas não entre o PVp e o TRE.

Para o fósforo Total nas MVS de Feijoeiro, tem-se a seguinte seqüência para os diferentes níveis de P adicionado ao solo:

$$P_0 \text{ e } P_1 : \text{TRE} > \text{PVp} > \text{LR} > \text{PVls} = \text{AQ}$$

$$P_2 \text{ e } P_3 : \text{TRE} > \text{PVp} = \text{LR} > \text{PVls} > \text{AQ}$$

Observou-se diferença significativa nas quantidades de P Total na MVS, entre todos os solos, com exceção dos solos AQ e PV1s para os níveis de P_0 e P_1 de fósforo adicionado, e entre o P total na MVS no LR e no PVp nos níveis de P aplicado P_2 e P_3 .

Para cada solo em particular, observou-se diferença significativa na quantidade de P total produzido nos diferentes níveis de P adicionado, exceto entre os níveis P_2 e P_3 do PVp.

Nas Tabelas 4, 5 e 6, se apresentam os resultados dos cálculos de Produção Relativa, com referência a máxima produção obtida em cada solo, e com referência máxima a produção de MVS de todos os solos. Também estão dados os resultados dos cálculos da porcentagem de utilização eficiente do fósforo adicionado ao solo, e os incrementos na Produção do MVS.

Os cálculos foram feitos da forma seguinte:

$$PRS (\%) = \frac{MVS (P_n)}{MVS (P_3)} \times 100$$

sendo,

$$n = 0, 1 \text{ ou } 2$$

$MVS (P_3)$ = Matéria Vegetal Seca ao nível P_3 para cada solo.

$$PRT (\%) = \frac{MVS (P_n)}{MVS (\text{máxima})}$$

sendo;

$$n = 0, 1, 2 \text{ ou } 3$$

$MVS (\text{máxima})$ = Máxima produção de MVS para todos os solos

$$U.E. (\%) = \frac{Pt (P_n) - Pt (P_0)}{P_n (\text{Adic.})} \times 100 \quad (1)$$

sendo que:

$$Pt (P_n) = \text{Fósforo total na MVS aos níveis de } P_n = P_1, P_2, P_3 ;$$

Tabela 4- Produção relativa (PRS) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida para cada solo.

P Adicionado (ppm)	S O L O S				
	AQ	PV1s	LR	PVp	TRE
0	16,03	16,28	18,19	43,30	75,90
10,92	51,40	51,98	53,78	80,14	84,94
21,84	83,97	80,38	86,06	94,86	91,81
32,76	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

PRS (%)

Tabela 5- Produção relativa (PRT) de MVS no Feijoeiro, com referência a máxima produção obtida em todos os solos.

P Adicionado (ppm)	S O L O S				
	AQ	PV1s	LR	PVP	TRE
0	7,54	9,33	16,39	43,30	75,36
10,92	24,16	29,78	48,44	80,14	84,33
21,84	39,47	46,05	77,51	94,86	91,15
32,76	47,01	57,30	90,07	100,00	99,28

PRT (%)

Tabela 6- Porcentagem de Utilização Eficiente (UE%) e Incremento na Produção (ΔPr) no Feijoeiro.

Níveis de P adição	S O L O S											
	AQ		PVI s		LR		PVP		TRE			
	UE (%)	ΔPr	UE (%)	ΔPr	UE (%)	ΔPr	UE (%)	ΔPr	UE (%)	ΔPr		
P ₁	2,45	220,63	4,40	212,93	7,14	195,62	5,95	85,08	3,11	11,90		
P ₂	2,20	63,39	3,91	54,62	7,10	60,00	5,07	18,36	2,66	8,09		
P ₃	1,99	19,09	3,54	24,42	5,80	16,20	4,53	5,42	2,61	8,92		

AQ : P₁ = 43,68 mg; P₂ = 87,36 mg; P₃ = 131,04 mg

PVP; PVI s; LR: P₁ = 32,76 mg; P₂ = 65,52 mg; P₃ = 98,28 mg

TRE: P₁ = 27,3 mg; P₂ = 54,6 mg; P₃ = 81,9 mg.

$P_t(P_0)$ = Fósforo Total na MVS ao nível P_0 de P adicionado;

$P_n(\text{Adic.})$ = Fósforo Adicionado ao solo, em mg, aos níveis de $P_n = P_1, P_2, P_3$.

Na Tabela 4, observa-se que para os solos AQ, PVls e LR, tem-se aproximadamente a mesma produção relativa para os diferentes níveis de P adicionado ao solo. No entanto, a TRE apresenta uma alta produção relativa ao nível P_0 , mas é menor ao nível P_2 , com referência ao PVp.

Na Tabela 5, pode-se observar que adicionando P ao solo, até os níveis P_3 , na AQ e no PVls, não foi alcançada a produção obtida ao nível de P_0 da TRE, a qual nos indicaria que para quantidade muito alta de P ao solo, no caso da AQ e no PVls, um nível P_2 para o LR, e um nível P_1 para o PVp.

Pode-se dizer também que a TRE pode dar uma produção bastante alta de MVS, com referência aos solos AQ, PVls e LR, sem aplicar nenhuma quantidade de adubo fosfatado.

Também pode-se observar que o solo TRE é o mais fértil com referência ao Fósforo, e a AQ é o menos fértil.

Na Tabela 6, observa-se que a Utilização Eficiente (UE) do adubo pela planta foi muito baixa, chegando no máximo a 7,1%. Também observa-se na AQ, no entanto, que apresentou baixo teor de P solúvel (Tabela 7), e pouca argila e Matéria Orgânica, que poderiam fixar o P no solo, a Utilização Eficiente é muito baixa, deduzindo-se que não é só o P adicionado que vai aumentar a Utilização Eficiente, mas que deve-se levar em conta todo o conjunto de fatores que regulam o sistema Solo-Planta.

No caso da TRE, o solo com maior quantidade de P

Tabela 7- Coeficiente de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS no feijoeiro, e o Fósforo Solúvel do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca		Fósforo Total na MVS	
	r	F	r	F
IAC	0,92	67,09	0,90	52,90
Mehlich	0,90	53,61	0,86	35,44
Olsen	0,76	17,89	0,76	17,31
Bray P-1	0,73	14,71	0,66	10,11
Bray P-2	0,77	18,90	0,72	14,12

** significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

solúvel, apresentou-se o mesmo fenômeno que na AQ, ou seja, que a quantidade de P aproveitado pelo feijoeiro foi muito pouca.

Observa-se que os incrementos na produção, se dão em maior quantidade nos solos com menor conteúdo de P solúvel, sendo que os incrementos na produção relativa, à medida que se incrementa a quantidade de P adicionado ao solo, diminuem com o aumento na quantidade de P solúvel no solo.

Correlações

Entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Solúvel no Solo, e entre o Fósforo Total na MVS e o Fósforo Solúvel no Solo.

Na Tabela 8, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida no feijoeiro, nos diferentes solos, e o P solúvel obtido por diferentes métodos de análise, para os mesmos solos anteriores.

Observa-se que a sequência de ordens de grandeza entre os coeficientes de correlação seria a seguinte segundo os métodos usados:

Bray P-1 < Olsen < Bray P-2 < Mehlich < IAC

Todos os coeficientes de correlação foram altamente significativos ($P < 0,01$), e tem relação estreita com os valores do Teste de F dado na mesma Tabela.

Quando comparados estes valores, com os resultados das análises de P solúvel no solo (Tabela 7), podem-se fazer as seguintes observações: a ordem em que foram separados os diferentes extratores, segundo a sua capacidade extratora, não concorda exatamente com os resultados obtidos da correlação com a MVS produzida, já que, os métodos de IAC, e de Mehlich estão de acordo

Tabela 8- Coeficiente de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS do Feijoeiro, com o Fósforo Orgânico do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca		Fósforo Total na MVS	
	r	s	r	s
S. e W.	0,69	*	0,68	*
M. et alii	0,69	*	0,68	*

* significativo estatisticamente a 5% de probabilidade.

com a suposição de que, por ser os métodos que maior quantidade de P extraíram, deveriam ser os de melhor correlação. No entanto, o método de Bray P-1 não deu os resultados que poderiam ser esperados.

Os métodos que melhor resultado apresentaram nas correlações, são aqueles mais adequados para solos bastante ácidos, como os usados neste experimento, sendo que o método de Olsen *et alii*, mais adequado para solos alcalinos ou ligeiramente ácidos, deu o menor coeficiente de correlação.

Por outra parte, todos os métodos apresentaram boa correlação com a MVS, considerando os dados da literatura científica a respeito, os quais consideram como boa uma correlação significativa ao nível de 1%, com um valor maior do que 0,7 para r.

Na Tabela 8, também apresentam-se os resultados das correlações entre a quantidade de P total na MVS de Feijoeiro, e a quantidade de P solúvel extraído por diferentes métodos de análise, para os cinco solos do Estado de São Paulo.

Nesta Tabela, observa-se que a sequência crescente das ordens de grandeza dos coeficientes de correlação, segundo os métodos de análise usados, é a seguinte:

$$\text{Bray P-1} < \text{Bray P-2} < \text{Olsen} < \text{Mehlich} < \text{IAC}$$

Observa-se, de forma similar à correlação com a MVS, que os melhores métodos são os do IAC e Mehlich, de forma similar com o discutido anteriormente.

Também pode-se notar que o método de Olsen, embora seja um dos métodos que menor quantidade de P solúvel extraiu, apresenta coeficiente de correlação superior aos métodos de Bray P-1 e P-2, os quais, de forma geral, extraíram maior quantidade de P dos solos.

Devido ao anterior, poderia-se considerar que os extratores usados por Mehlich e por Catani (IAC), são os melhores para se estabelecer correlação entre a MVS ou o P total na MVS de Feijoeiro, e a quantidade de P solúvel no solo.

Correlações entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Orgânico no Solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Orgânico no Solo.

Na Tabela 9, tem-se os coeficientes de correlação obtidos entre a MVS produzida pelo Feijoeiro, nos diferentes solos, e o Fósforo Orgânico obtido do solo por diferentes métodos de análise, assim como os coeficientes de correlação entre fósforo Total na MVS e Feijoeiro e Fósforo Orgânico do Solo.

Observa-se por esses resultados que, tanto o método de Saunders e Williams como o de Mehta et alii são equivalentes, já que apresentaram coeficientes de correlação similares.

Também cabe destacar que a correlação não foi tão significativa quanto com o P solúvel, pois os coeficientes de correlação são significativos só ao nível de 5% de probabilidade, sendo que para o P solúvel, além de ter-se valores absolutos mais altos, a significância é ao nível de 1% de probabilidade.

Do anterior, pode-se deduzir que o P orgânico não apresenta uma boa correlação com as plantas de Feijoeiro para o tipo de solos ácidos, e, em geral, com pouca matéria orgânica, empregados neste experimento.

Correlações entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Total no Solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Total no Solo.

Na Tabela 10, tem-se os coeficientes de correla-

Tabela 9- Coeficiente de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS de Milho, com o Fósforo Orgânico do Solo, obtido por diferentes métodos de análise.

Método de Análise	Matéria Vegetal Seca		Fósforo Total na MVS	
	r	s	r	s
S. e W.	0,67	*	0,62	*
M. et alii	0,65	*	0,62	*

* significativo estatisticamente a 5% de probabilidade.

ção obtidos entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, e o Fósforo Total do Solo obtido por diferentes métodos de análise, em ambos casos para os cinco solos em estudo, assim como também os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro e o Fósforo Total do Solo.

Observa-se nesses dados que os valores absolutos dos coeficientes de correlação, tanto com o MVS como com o P Total na MVS, são muito próximos, tendo-se uma alta significância estatística ($P < 0,01$), o qual não acontece com o P orgânico.

Por outra parte, os métodos de Sommers e Nelson e de Jackson, apresentam-se equivalentes, tanto na determinação do P Total do Solo, quanto nas correlações com a MVS de Feijoeiro e o P Total na MVS.

Correlação entre Matéria Vegetal Seca e Fósforo Adicionado ao solo, e entre Fósforo Total na MVS e Fósforo Adicionado ao Solo.

Na Tabela 11, observam-se os coeficientes de correlação obtidos entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, em cada solo, e o Fósforo Adicionado ao Solo, assim como os coeficientes de correlação entre o Fósforo Total na MVS de Feijoeiro, e o P adicionado ao solo.

Dos dados apresentados, observa-se que em todos os solos deu-se uma correlação altamente significativa, ao nível de 1% de probabilidade, sendo que os valores obtidos com o Fósforo Total na MVS, são ligeiramente melhores que os obtidos com MVS, no entanto todos esses valores estão na ordem de 0,98 ou mais, exceto a correlação no Pvp entre MVS de Feijoeiro e P adicionado, no qual o valor cai para 0,93.

Pelo anterior, pode-se deduzir que o Feijoeiro

Tabela 10- Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca e/ou o Fósforo Total na MVS do Feijoeiro, com o Fósforo Total do solo obtido por diferentes métodos de análise.

Métodos de Análise	Matéria Vegetal Seca		Fósforo Total na MVS	
	r	F	r	F
S. e N.	0,73	15,05	0,72	13,69
Jackson	0,74	15,50	0,72	14,15
C. e B.	0,84	30,63	0,81	24,43

* significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

Tabela 11- Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (s), entre a Matéria Vegetal Seca, e o Fósforo Total na MVS em Feijoeiro, com os diferentes níveis de Fósforo Adicionado ao solo, para cada tipo de solo.

Solo		Matéria Vegetal Seca	Fósforo Total na MVS
AQ	r	0,988	0,995
	F	78,62	207,67
	s	**	**
PVI s	r	0,992	0,995
	F	120,76	195,60
	s	**	**
LR	r	0,984	0,988
	F	60,05	79,71
	s	**	**
PVp	r	0,932	0,992
	F	13,18	124,61
	s	**	**
TRE	r	0,999	0,998
	F	794,93	404,60
	s	**	**

* significativo estatisticamente a 1% de probabilidade.

respondeu significativamente a adubação fosfatada, tanto na produção de MVS, quanto na quantidade de P Total na MVS.

Correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida e a quantidade de Fósforo Total na MVS, para cada nível de Fósforo Adicionado ao Solo

Na Tabela 12, tem-se os valores obtidos para os coeficientes de correlação entre a Matéria Vegetal Seca produzida pelo Feijoeiro, e a quantidade de Fósforo Total nessa MVS.

Segundo os dados anotados, os valores absolutos dos coeficientes de correlação, estão na seguinte ordem crescente, segundo o nível de P adicionado ao solo:

$$P_1 < P_2 < P_3 < P_0$$

Observa-se que estes dados concordam com os de quantidade de fósforo absorvido pela planta a cada nível de P adicionado ao solo, para todos os solos, no entanto, esses valores de r são altamente significativos ao nível de 1% de probabilidade, e as suas diferenças reais são muito baixas, pelo qual pode-se considerar que a todos os níveis, a quantidade de Fósforo na Planta, se correlacionou muito bem com a matéria vegetal seca produzida no Feijoeiro.

CONCLUSÕES

- De forma geral, houve respostas ao P adicionado nos três níveis para os cinco solos, tanto na Matéria Vegetal seca produzida, como no P total na MVS. Convém destacar os solos AQ, PV1s e LR com uma maior resposta ao P adicionado. Isto foi confirmado pelos coe

Tabela 12- Coeficientes de correlação (r), teste de F (F) e significância estatística (\bar{p}), entre a Matéria Vegetal Seca e o Fósforo na MVS do Feijoeiro, para cada nível de Fósforo Adicionado ao solo.

	P adicionado (ppm)		
	0	10,92	21,84
r	0,946	0,946	0,953
F	439,45	110,33	129,67
s	**	**	**
			32,76
			0,982
			250,69
			**

* significativo estatisticamente a 1% de probabilidade

ficientes de correlação.

- Em todos os solos e todos os níveis de P aplicado, a porcentagem de Utilização Efetiva de P foi baixa, menos do que 10%. A melhor porcentagem de Utilização Efetiva foi no LR (7,14%).

- Nos extratores de P solúvel, as melhores correlações com a MVS produzida e com o P total na MVS, foram com os extratores do IAC e do Mehlich.

- Os dois extratores usados para P orgânico, deram as mesmas correlações com Matéria Vegetal Seca e com P total na MVS.

- No referente aos Extratores para P total, não pode-se ter uma conclusão certa, devido a que o extrator menos eficiente (Catani e Bataglia) foi o que deu a melhor correlação ($r = 0,83^{*}$).

- Em todos os níveis de P adicionado ao solo, houve uma correlação muito boa entre a Matéria Vegetal Seca produzida, e o P total na MVS.

SUMMARY

AVAILABILITY OF PHOSPHORUS IN SOME SOILS OF THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL, FOR BEAN PLANTS (*Phaseolus vulgaris* L.) AND CORRELATIONS AMONG FORMS OF P IN THESE SOILS AND DRY MATTER WEIGHT AND P UPTAKE BY PLANTS.

The experiment was carried out in greenhouse in order to find responses by bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) to four rates of P application on five soils of the State of São Paulo, Brazil, namely:

a. sandy quartz (Entisol); b. red yellow podzolic, Lara variation (Ultisol); c. red-ocre latosol (Oxisol); d. red yellow podzolic, Piracicaba, variation (Ultisol); e. terra roxa estruturada (Alfisol).

According to the data, the following conclusions were drawn:

- There was a significant response to P added.
- The efficient utilization of P was low.
- There was a very good correlation ($r = 0.94^{**}$) between the soluble P extracted by means of the Mehlich and IAC methods and Dry Vegetal Matter (DVM) and the P in this DVM.
- Both extractants for organic P gave good correlation with DVM and P in this DVM ($r = 0.69^*$).

LITERATURA CITADA

- BRAY, R.H. e KURTZ, L.T., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., 59:39-45.
- CATANI, R.A., GALLO, J.R. e GARGANTINI, H., 1955. Amostragem de solo, métodos de análises, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Inst. Agr. Campinas, Boletim n) 69, 29 pp.
- CATANI, R.A. e BATAGLIA, O.C., 1968. Formas de ocorrência do fósforo no solo latossólico roxo. Anais da ESALQ, Piracicaba, 25:99-119.
- CHANG, S.C., 1965. Application of phosphorus fractiona-

- tion to the study of the chemistry of available soil phosphorus. Soil and Fert. in Taiwan, p. 1-15.
- HESSE, P.R., 1971. A Textbook of Soil Chemical Analysis.
JOHNS MURRAY, Eds., pp. 295.
- IVANOV, S.N., 1970. A new principle of determining the fertilizer requirements of plants in relation to the nutrient content of the soil. In: 8th. Intern. Congress of Soil Sci., Bucharest, pp. 861-867.
- JACKSON, M.L., 1970. Análises Químico de Suelos. 2^a ed.
MARTINEZ, J.B., Trad. Barcelona, Ed. Omega S.A.,
662 p.
- MEHLICH, A., 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄, by North Carolina soil testing laboratories. Univ. of N. Carolina, Raleigh, 1953.
- MEHTA, N.C., LEGG, J.O., GORING, C.A. e BLACK, C.A., 1954. Determination of organic phosphorus in soil: I. Extraction method. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18: 443-449.
- MURPHY, J. e RILEY, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorus in natural water. Anal. Chim. Acta., 27:31-36.
- OLSEN, S.R., COLD, C.V., WATANABE, F.S. e DEAN, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., Circular nº 939.
- OLSEN, S.R. e FRIED, M., 1957. Soil phosphorus and fertility. In: Soil, the yearbook of agriculture, Washington, pp. 94:100.
- PIMENTEL GOMES, F., 1970. Curso de Estatística Experimental. 4^a ed., São Paulo. Livraria Nobel S.A. 430 p.

SAUNDERS, W.M.H. e WILLIAMS, E.G., 1955. Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. J. Soil Sci., 6(6):254-267.

SOMMERS, L.E. e NELSON, D.W., 1972. Determination of total phosphorus in soils. A rapid perchloric acid digestion procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:902-904.