

# RELAÇÕES ENTRE A RESPOSTA DA SOJA À ADUBAÇÃO FOSFATADA E ALGUNS PARÂMETROS DO SOLO <sup>(1)</sup>

L. N. DE MIRANDA <sup>(2)</sup> & S. J. VOLKWEISS <sup>(3)</sup>

## RESUMO

Em doze solos de características físicas e químicas diferentes foram estudadas, no campo, as relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. Através de análise de correlação e regressões simples e múltiplas, estudaram-se as relações do rendimento relativo da soja e da necessidade de adubação fosfatada (quilograma de  $P_2O_5$ /hectare), para obtenção de 90% do rendimento máximo, com o P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1, Olsen e P solução, e os parâmetros: poder-tampão de P (PTP), percentagem de argila, conteúdo de água a 1/3 de atmosfera e outros índices do PTP.

Os parâmetros PTP e percentagem de argila contribuíram mais que os métodos mencionados, para avaliar a disponibilidade de P e a necessidade de adubação para a soja, nos solos estudados.

O uso conjunto do PTP, da percentagem de argila e do P extraível pelos métodos de Mehlich, Bray-1, ou Olsen, proporcionou melhor avaliação da disponibilidade de P e da necessidade de adubação para a soja que a baseada apenas nos métodos.

## SUMMARY: RELATIONSHIPS BETWEEN SOYBEAN RESPONSE TO PHOSPHORUS FERTILIZATION AND SEVERAL SOIL PARAMETERS

*The relationships between soybean response to phosphorus fertilization and several soil parameters were studied in field experiments in 12 soils with different physical and chemical properties.*

*Relationships between relative yield of soybean and P extracted by the methods of Mehlich, Bray-1, Olsen and P in solution as well as the parameters of phosphorus buffer capacity (PTP), percent clay, soil water content at 1/3 atmosphere and other PTP indexes were studied by correlation analysis and simple and multiple regression analysis. Similar studies were also made on the relationships between the phosphorus fertilizer (kg  $P_2O_5$ /ha) required to obtain 90% of the relative yield and the extractable P, buffer capacity, and other soil parameters previously mentioned.*

*In the soils studied, the buffer capacity parameters and percent clay contributed more than the methods for evaluating phosphorus availability and the phosphorus fertilizer requirements for soybeans. The combined use of phosphorus buffer capacity, percent clay and P extracted by the methods of Mehlich, Bray-1 or Olsen provided better evaluation of the P availability and the phosphorus fertilizer requirements of soybeans than the methods themselves.*

## INTRODUÇÃO

A maioria dos solos requer a adição de adubos fosfatados para que as plantas cultivadas possam proporcionar bons rendimentos. A disponibilidade do P nativo e do P proveniente do adubo aplicado é variável entre os diferentes solos, sendo, portanto, necessário avaliar ambos para que se possa recomendar quantidades adequadas daquele adubo.

Os métodos atualmente utilizados para avaliação da disponibilidade de P, não se têm mostrado eficientes, principalmente quando utilizados com solos de diferentes propriedades físicas e químicas (Grunes *et alii*, 1963 e Mielniczuk *et alii*, 1971).

A baixa capacidade desses métodos em avaliar a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas, é devida, em parte, a não considerarem as relações solo-planta e os parâmetros do solo que desempenham papel importante na absorção de P pelas raízes.

O P é fornecido para as plantas principalmente pelo processo de difusão, o qual é grandemente influenciado pelo teor de argila e conteúdo de água no solo (Olsen *et alii*, 1962; Olsen & Watanabe, 1963 e Porter *et alii*, 1960). A difusão de P está diretamente relacionada à concentração de P na solução do solo, à quantidade P adsorvida na fase sólida do solo e em equilíbrio com o P da solução e ao poder-tampão de P que é a capacidade da fase sólida em renovar a solu-

<sup>(1)</sup> Parte do trabalho de Tese apresentado pelo primeiro autor como um dos requisitos ao Grau de Mestre em Agronomia, na área de solos. Faculdade de Agronomia, UFRGS - Porto Alegre. Recebido para publicação em julho de 1980 e aprovado em janeiro de 1981.

<sup>(2)</sup> Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - EMBRAPA. 73.300 Planaltina (DF).

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos da F.A./UFRGS.

ção com P, à medida que este vai sendo absorvido pelas plantas (Olsen & Watanabe, 1963).

Resultados experimentais obtidos em casa de vegetação e em condições de campo, sugerem uma promissora metodologia de avaliação da disponibilidade de P para as plantas em que se considera a difusão de P e os parâmetros do solo relacionados à absorção desse nutriente (Baldovinos & Thomas, 1967; Gunary & Sutton, 1967; Khasawneh & Copeland, 1973; Mederski & Wilson, 1960; Olsen *et alii*, 1961 e Olsen & Watanabe, 1963).

Barrow (1967), em 42 solos ácidos da Austrália, observou uma pequena relação entre a absorção de P por «bromus» e o potencial químico de fosfato de cálcio ( $1/2 \text{ pCa} + \text{pH} \cdot \text{PO}_4$ ) mas, quando foi considerado o poder-tampão a 0,2 ppm de P na solução, 90% da absorção de P pôde ser prevista por uma equação de regressão múltipla.

Ozzane & Shaw (1968), trabalhando com pastagens permanentes, verificaram que a quantidade de fertilizante fosfatado necessária para obtenção de 95% do rendimento máximo foi fracamente predita pelo extrator de Olsen ( $r = 0,6$ ), mas, introduzindo o poder tampão de P dos solos a 0,3 ppm de P em solução, obtiveram um coeficiente de correlação de 0,91 e a seguinte equação:

P necessário (libras/acre) =  $10,3 - 2,86 (\text{P Olsen}) + 4,06 (\text{PTP})$ .

Este trabalho se propõe estudar as relações entre a disponibilidade de P no solo e a necessidade de adubação para a soja, com o P extraível pelos métodos de Mehlich, Bray-1, Olsen e P solução em solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Através de análise de correlação e de regressões simples e múltiplas, procurar-se-á obter informações sobre a importância relativa dos seguintes parâmetros do solo no rendimento relativo da soja e na necessidade de adubação: poder tampão de P (PTP), percentagem de argila, conteúdo de água e outros índices de PTP.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados experimentos fatoriais com nível de calcário e fósforo executados a campo e que fazem parte da rede de experimentos programados pelos Laboratórios Oficiais de Análises de Solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Esses experimentos foram instalados nos solos Bom Retiro, Camaquã (dois locais), Durox, Erechim, Farroupilha, Passo Fundo (dois locais), Santo Ângelo, São Borja, São Jerônimo e Vacaria. Como planta-teste foi cultivada a soja, variedade Bragg. As sementes receberam inoculação adequada com *Rhizobium*.

Em cada experimento fez-se uma amostragem de solo nas parcelas que não haviam recebido adubo fosfatado solúvel e com dose de calcário considerada adequada ao bom desenvolvimento das plantas. Cada amostra foi composta de 40 subamostras por parcela e, posteriormente, as amostras das parcelas com o mesmo tratamento foram misturadas para se obter uma amostra média.

Consideraram-se apenas os dados de rendimento da soja do primeiro ano. O maior rendimento médio obtido em cada solo foi tomado como 100% para cálculo do rendimento relativo. Através de um gráfico relacionando o rendimen-

to relativo dos vários níveis de P com a quantidade de adubo aplicado, determinou-se, para cada solo, a quantidade de adubo, em quilograma de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /hectare, para obtenção de 90% do rendimento máximo da soja. As curvas foram ajustadas visualmente aos pontos experimentais.

Nas amostras de solo fez-se a determinação do teor de matéria orgânica e do pH em água segundo Mieleniczuk *et alii* (1969) e das frações areia, silte e argila de cada solo pelo método descrito por Day (1965).

As relações entre potencial matricial e teor de umidade foram determinadas para cada solo. Amostras de solo secas ao ar e passadas em peneira de 2mm, foram umedecidas e colocadas em um conjunto de pratos de sucção. O conjunto foi submetido à pressão de 1/3 de atmosfera, medindo-se o conteúdo da água em equilíbrio.

Isotermas de adsorção foram obtidas pela adição de 3g de solo, destorroado manualmente e passado em peneira de 2mm, em tubos plásticos de centrifuga contendo 30ml de  $\text{SrCl}_2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  com quatro doses de P na forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Para os solos de textura mais arenosa, como Bom Retiro, Camaquã e São Jerônimo, as doses de P foram de 0, 50, 100 e 200  $\mu\text{g}$  de P/grama de solo e, para o restante dos solos, as doses foram de 0, 200, 400 e 800  $\mu\text{g}$  de P/grama de solo. Os tubos foram agitados durante uma hora em agitador horizontal e, posteriormente, fizeram-se agitações de duas em duas horas até completar um período de 24 horas de contato entre solo e solução. O material foi, então, centrifugado por dez minutos a 10.000 rpm, separando-se o sobrenadante para determinação de P pelo método de Murphy & Riley (1962).

Por diferença entre o P inicial adicionado e o P remanescente na solução, foi calculado o P adsorvido, executando-se um gráfico relacionando P adsorvido (ppm) com o logaritmo de ppm de P em solução. A inclinação da reta, fornecida pelo coeficiente  $p$  nas equações obtidas através de análise de regressão, foi tomada como poder tampão de P, segundo o método proposto por Bache & Williams (1971):

P adsorvido (ppm) =  $a + p \log \text{P solução (ppm)}$

A concentração de P na solução de  $\text{SrCl}_2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  na dose zero de P, após 24 horas de contato solo-solução, foi tomada como um índice de concentração natural de P na solução do solo (P solução).

As amostras de solo foram secas ao ar e moídas em moinho Nasco Asplin, equipado com peneiras de 14 malhas/polegada. Nas amostras assim preparadas, fez-se a extração de P pelo método de Mehlich, Bray-1 e Olsen (Anghinoni, 1972). O fósforo extraído por Mehlich e Bray-1 foi determinado pelo método do ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico e, o extraído por Olsen, pelo método de Murphy & Riley (1962).

Foram executadas análises de correlação e regressões simples e múltiplas entre o rendimento relativo da soja e o P extraído pelos métodos e os outros parâmetros do solo. Fez-se o mesmo para a quantidade de adubo fosfatado (em quilograma de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /hectare) necessária para a obtenção de 90% do rendimento máximo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos em estudo apresentam diferentes características físicas e químicas, o que os torna, em conjunto, adequados aos objetivos do trabalho (Quadro 1). O teor de matéria orgânica variou de 2,1 a 7,6%, o pH em água de 4,6 a 6,1, a fração de argila de 17 a 79% e o conteúdo de água dos solos, quando submetidos a uma pressão de 1/3 de atmosfera, oscilou de 13 a 35%.

O poder-tampão de P (PTP) variou de 53 a 307 e os solos mais argilosos apresentaram maior capacidade de adsorção e maior PTP. Olsen & Watanabe (1963) observaram que o coeficiente de difusão de P no solo aumentou de  $1,1 \times 10^{-7}$  para  $6,7 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{seg}$  e, o poder tampão de P aumentou de 110 para 178, quando o conteúdo de argila variou de 17 para 51%, em três solos em casa de vegetação. Além disso, a quan-

**Quadro 1 - Características gerais de solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**

Solo	Classificação (1)	pH em água	Matéria orgânica	argila	Água 1/3 atm	PTP (2)
				%		
Bom Retiro	Podzólico Vermelho-Amarelo	5,2	2,1	21	13	54
Camaquã I	Podzólico Vermelho-Amarelo	4,7	4,8	17	15	53
Camaquã II	Podzólico Vermelho-Amarelo	5,8	6,8	19	14	65
Durox	Latossolo Húmico Distrófico	4,9	4,5	62	31	291
Erechim	Latossolo Roxo Distrófico	5,2	3,2	79	35	263
Farroupilha	Cambissolo Húmico	5,7	6,1	42	29	243
Passo Fundo I	Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico	5,4	4,3	63	31	307
Passo Fundo II	Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico	4,8	7,4	60	31	287
Santo Ângelo	Latossolo Roxo Distrófico	6,1	7,6	69	30	292
São Borja	Laterítico Bruno-Avermelhado Distrófico	4,6	5,8	36	26	234
São Jerônimo	Laterítico Bruno-Avermelhado Distrófico	5,1	3,7	25	14	57
Vacaria	Latossolo Bruno Distrófico	5,1	3,7	57	31	307

(1) Fonte: Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul (Brasil, 1973).

(2) Poder-tampão de P calculado segundo Bache &amp; Williams (1971).

**Quadro 2 - Teor de P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1, Olsen e P-solução. Dados de rendimento de soja ao nível zero de P, quantidade de adubo necessário para obtenção de 90% do rendimento máximo e rendimento relativo**

Solo	P extraído			P-solução	Soja		
	Mehlich	Bray-1	Olsen		Rendimento	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> para 90% rend. máx.	Rendimento relativo
		ppm				kg/ha	%
Bom Retiro	6,8	5,8	2,6	0,008	1.480	145	63
Camaquã I	7,2	2,2	2,0	0,016	3.030	80	81
Camaquã II	7,0	2,8	2,8	0,032	2.980	75	77
Durox	6,0	5,2	3,4	0,000	1.710	460	77
Erechim	6,4	3,2	1,6	0,008	450	500	36
Farroupilha	8,6	5,4	3,2	0,011	2.950	95	79
Passo Fundo I	4,1	3,9	1,2	0,000	980	320	50
Passo Fundo II	3,9	2,1	2,0	0,000	2.580	110	72
Santo Ângelo	5,3	2,1	1,8	0,005	1.530	310	46
São Borja	5,0	3,2	2,6	0,000	1.660	25	73
São Jerônimo	3,5	2,2	1,4	0,005	1.850	105	40
Vacaria	5,7	3,0	1,4	0,005	1.740	263	80

tidade de P absorvido por plântulas de milho em 24 horas, foi semelhante à predita pela equação  $Q = (b.Dp)^{1/2}$ , em que  $b$  é o poder tampão de P e  $Dp$  o coeficiente de difusão de P no solo, considerando constantes outros fatores, como área superficial das raízes e concentração de P.

Os solos apresentaram diferentes conteúdos de P extraível pelos vários métodos. O de Mehlich mostrou os maiores teores de P no solo, seguido em ordem decrescente pelos de Bray-1 e Olsen (Quadro 2). Os teores de P na solução foram baixos, variando de 0,000 a 0,032 ppm de P, sendo grande a incerteza na sua determinação. O rendimento da soja variou de 449 a 3.030 kg/ha e o rendimento relativo de 36 a 81%. Esses dados foram tomados ao nível zero de P e a variabilidade apresentada foi, provavelmente, decorrente das diferenças de disponibilidade de P entre os solos. A quantidade de adubo necessária para a obtenção de 90% do rendimento apresentou grande variação entre os diversos solos.

Observa-se a necessidade de aplicação de fertilizantes desde 25 até 500 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Um método adequado de avaliação de disponibilidade de P do solo deveria proporcionar um índice coerente com o rendimento da soja, em que, a maior índice corresponderia maior rendimento. Da mesma maneira, quanto menor esse índice, maior deveria ser a adubação em quilograma/hectare de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para 90% do rendimento máximo. Entretanto, pelos dados do quadro 2 não se observa para os métodos estudados nenhuma tendência nesse sentido.

Os métodos de extração de P e os parâmetros dos solos foram testados na sua capacidade de previsão do rendimento relativo da soja, através de análises de correlação e regressão, como indica o quadro 3.

Pode-se observar que os métodos de Mehlich, Bray-1 e P solução apresentaram um coeficiente de correlação não significativo com o ren-

**Quadro 3 - Equações de regressão e coeficientes de correlação para as relações entre o rendimento relativo de soja, em porcentagem (Y) e P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1, Olsen e P-solução; poder-tampão de P (PTP) e argila**

Equação número	Equação de regressão	Coeficiente de correlação (1)	Coeficiente padrão de regressão parcial		
			Variável		
			P	PTP	Argila
		$r$	$b$		
1	$Y = 34,7 + 5,1 \text{ Mehlich}$	0,46ns	—	—	—
2	$Y = 55,2 + 2,7 \text{ Bray-1}$	0,22ns	—	—	—
3	$Y = 35,1 + 13,6 \text{ Olsen}$	0,59*	—	—	—
4	$Y = 60,9 + 40 \times 10 \text{ P-solução}$	0,26ns	—	—	—
5	$Y = 66,1 - 0,010 \text{ PTP}$	0,05ns	—	—	—
6	$Y = 78,0 - 0,30 \text{ argila}$	0,38ns	—	—	—
7	$Y = 79,2 + 0,23 \text{ PTP} - 1,34 \text{ argila}$	0,76**	—	1,50	1,73
8	$Y = 51,1 + 4,2 \text{ Mehlich} + 0,23 \text{ PTP} - 1,26 \text{ argila}$	0,85**	0,38	1,50	-1,62
9	$Y = 75,6 + 1,02 \text{ Bray-1} + 0,22 \text{ PTP} - 1,31 \text{ argila}$	0,77**	0,08	1,47	-1,70
10	$Y = 58,2 + 8,0 \text{ Olsen} + 0,19 \text{ PTP} - 1,10 \text{ argila}$	0,83**	0,35	1,27	-1,42
11	$Y = 66,7 + 695 \text{ P-solução} + 0,26 \text{ PTP} - 1,34 \text{ argila}$	0,82**	0,38	1,74	-1,73

(1) r: coeficiente da correlação simples; R: coeficiente da correlação múltipla.

ns: Não significativo; \*significância ao nível de 5%; \*\*significância ao nível de 1%.

dimento relativo. O coeficiente de correlação entre o método de Olsen e o rendimento relativo foi de 0,59 e, embora seja significativo ao nível de 5%, indica uma baixa correlação.

Os métodos de Mehlich e Bray-1 seriam mais indicados para extração de P em solos ácidos, embora apresentem limitações (Corey, 1971; Olsen & Dean, 1965, e Van Diest *et alii*, 1960), enquanto o de Olsen teria melhor eficiência em solos alcalinos (Grunes *et alii*, 1963). Entretanto, todos apresentaram baixa capacidade de avaliação da disponibilidade de P para a soja. Possivelmente, a falta de correlação entre P solução e rendimento relativo seja, em parte, devida à incerteza na determinação dos valores de P solução.

O PTP e a argila apresentam, individualmente, um baixo coeficiente de correlação com o rendimento relativo, porém quando seus efeitos sobre o rendimento relativo foram considerados em conjunto em uma equação de regressão múltipla, o coeficiente de correlação múltipla R foi de 0,76, significativo ao nível de 1% (Quadro 3). O coeficiente padrão de regressão parcial  $b$  indica a importância relativa de cada equação de regressão e, pelo que se pode observar, o PTP e a argila têm praticamente a mesma importância.

A introdução individual do PTP e da argila junto aos métodos não alterou de modo significativo sua correlação com o rendimento relativo, porém, considerando-se cada método, o PTP e argila em conjunto, em relação ao rendimento relativo, obtiveram-se coeficientes de correlação múltipla R significativos ao nível de 1% (Quadro 3, equações 8, 9, 10 e 11). Entretanto, pelo coeficiente  $b$ , constata-se que os parâmetros foram mais importantes que os métodos para a equação de regressão. Observa-se, então, que todos os métodos pouco contribuíram para expli-

car as variações no rendimento relativo da soja, sendo que os parâmetros PTP e argila foram os mais importantes.

Equações de regressão entre a quantidade de adubo em quilograma/hectare de  $P_2O_5$  para obtenção de 90% do rendimento máximo de soja e o P extraído pelos métodos de Mehlich, Bray-1, Olsen e P solução mostraram correlação não significativa com a necessidade de adubação (Quadro 4).

Para uma efetiva recomendação de adubação, o teor de P determinado pelos métodos deveria se aproximar, ao máximo, do real disponível no solo para as plantas, o que não ocorre devido a limitações dos próprios métodos. Por outro lado, o adubo aplicado reage sob influências das características próprias de cada solo, e dificilmente apenas um índice fornecido por um método de análise seria suficiente para se recomendar adubação fosfatada.

O PTP também não se correlaciona significativamente com a necessidade de adubação,  $r = 0,56$ , porém a argila apresenta um coeficiente,  $r = 0,80$ , significativo ao nível de 1%. O PTP é um parâmetro estreitamente relacionado à porcentagem de argila do solo, aumentando em proporção direta ao conteúdo da mesma. Seria de esperar que ambos apresentassem correlações semelhantes com a necessidade de adubação, o que não se constata pelas equações obtidas. É importante lembrar que, neste trabalho, foram consideradas apenas as parcelas testemunhas dos experimentos e, evidentemente, a previsão da quantidade de adubo a aplicar em função, apenas, do teor de argila só seria válida para solos que ainda não receberam adubação fosfatada.

A equação 7 (Quadro 4) mostra a regressão dos parâmetros PTP e argila para a adubação,

**Quadro 4 - Equações de regressão e coeficientes de correlação para as relações entre a quantidade de adubo em quilograma/hectare de  $P_2O_5$  (Adub.), necessária para obtenção de 90% do rendimento máximo da soja e P extraído pelos métodos de Mehlich, Olsen, Bray-1 e P-solução; poder tampão de P (PTP) e argila**

Equação número	Equação de regressão	Coeficiente de correlação (1)	Coeficiente padrão de regressão parcial		
			Variável		
			P	PTP	Argila
		$r$	$b$		
		R			
1	Adub. = 246 - 6,7 Mehlich	0,06ns	—	—	—
2	Adub. = 132 + 22 Bray-1	0,19ns	—	—	—
3	Adub. = 292 - 39 Olsen	0,18ns	—	—	—
4	Adub. = 251 - 58 x 10 <sup>2</sup> P-solução	0,33ns	—	—	—
5	Adub. = 41,9 + 0,81 PTP	0,56ns	—	—	—
6	Adub. = - 59,6 + 5,8 argila	0,80**	—	—	—
7	Adub. = - 65,5 - 1,13 PTP + 11,0 argila	0,87**	—	-0,79	1,51
8	Adub. = - 182 + 17,5 Mehlich + 1,14 PTP + 11,3 argila	0,88**	0,17	-0,79	1,56
9	Adub. = - 188 + 34 Bray-1 - 1,32 PTP + 11,9 argila	0,92**	0,29	-0,92	1,63
10	Adub. = - 166 + 38 Olsen - 1,30 PTP + 12,1 argila	0,88**	0,18	-0,91	1,66
11	Adub. = - 72,5 + 390 P-solução - 1,11 PTP + 11,0 argila	0,87**	0,02	-0,78	1,51

(1)  $r$ : coeficiente da correlação simples; R: coeficiente da correlação múltipla.

ns: Não significativo; \*significância ao nível de 5%; \*\* significância ao nível de 1%.

com um coeficiente de correlação múltipla  $R = 0,87$ , significativo ao nível de 1%. A inclusão do PTP proporcionou um incremento no coeficiente de correlação entre argila e adubação. Através do coeficiente  $b$ , observa-se que a argila é duas vezes mais importante que o PTP para a equação de regressão.

Quando se consideraram conjuntamente PTP e argila com os métodos de Mehlich (equação 8), Bray-1 (equação 9), Olsen (equação 10) e P solução (equação 11), para predição da adubação necessária à obtenção de 90% do rendimento máximo, foram obtidos, com significância ao nível de 1%, coeficientes de correlação múltipla  $R = 0,88$  para Mehlich e Olsen,  $R = 0,92$  para Bray-1 e  $R = 0,87$  para P solução. Esses coeficientes de correlação são semelhantes ao obtido na equação 7 em que se consideram apenas PTP e argila ( $R = 0,87$ ). Isso indica que os métodos contribuíram muito pouco para a previsão de necessidade de adubação, o que é reforçado pelos coeficientes  $b$  referentes aos métodos nas equações de regressão.

Considerando-se apenas os coeficientes de correlação múltipla e os coeficientes padrões de regressão parcial  $b$  das equações apresentadas nos quadros 4 e 5, poder-se-ia concluir que os métodos seriam de muito pouca importância e até mesmo dispensáveis para a avaliação da disponibilidade de P para a soja. Contudo, deve ser considerado que foram utilizados solos com baixos valores de P extraível e, em todos os casos, houve resposta à adubação fosfatada. Se, por outro lado, houvessem sido utilizados também solos com teores altos de P extraível, é possível que, apesar das deficiências inerentes aos métodos, estes passariam a ter maior importância nas equações de regressão.

Apesar das limitações dos métodos, portanto, é de esperar que a disponibilidade de P para as plantas e a necessidade de adubação seja melhor avaliada, se baseada no uso conjunto de P extraível por um método, PTP e percentagem de argila ou substitutivos apropriados.

## CONCLUSÕES

O P extraível pelo método de Mehlich, Bray-1, Olsen ou P solução é ineficiente quando utilizado como único índice para avaliar a disponibilidade de P e a necessidade de adubação para a soja cultivada a campo, em solos de diferentes características físicas e químicas.

O poder tampão de P (PTP) do solo e a percentagem de argila em conjunto são mais importantes que o P extraível pelos métodos, para avaliação da disponibilidade de P e da necessidade de adubação para a soja, em solos que ainda não receberam adubo fosfatado.

A disponibilidade de P e a necessidade de adubação para a soja são melhor avaliadas pelo uso conjunto de P extraível pelos métodos de Mehlich, Bray-1 ou Olsen, poder tampão de P (PTP) e percentagem de argila.

A utilização de P solução como um índice da disponibilidade de P e da necessidade de adubação é problemática devido, entre outras, às dificuldades de determinação de P em solução de baixas concentrações.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Ibanor Anghinoni, pela colaboração prestada durante a execução da pesquisa,

e ao colega Eneas Zaborowsky Galvão, pela participação nas atividades de campo e de laboratório.

### LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. - Relação do fósforo com as características dos solos do Rio Grande do Sul e avaliação de sua disponibilidade através de métodos químicos. Tese de Mestrado em agronomia - Solos - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1972. 180f.
- BACHE, B. W. & WILLIAMS, E. G. - A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.*, 22: 289-301, 1971.
- BALDOVINOS, F. & THOMAS, G. W. - The effect of clay content on phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31: 680-682, 1967.
- BARROW, N. J. - Relationships between uptake of phosphorus potential and buffering capacity of the soil; an attempt to test Schofield's hypothesis. *Soil Sci.*, 104: 99-106, 1967.
- BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 429p. (Boletim, 30)
- COREY, R. B. - Soil testing; theory and practice. Madison, University of Wisconsin, 1971. 158p.
- DAY, P. R. - Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. *et alii*. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.545-567 (Part. 1)
- GRUNES, D. L.; HAISE, H. R.; TURNER, F. & ALESSI, J. - Relationships between yield response to applied fertilizers and laboratory measures of nitrogen and phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27: 675-679, 1963.
- GUNARY, D. & SUTTON, G.D. - Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J. Soil Sci.*, 18: 167-173, 1967.
- KHASAWNEH, F. E. & COPELAND, J. P. - Cotton root growth and uptake of nutrients: relation of phosphorus uptake to quantity, intensity and buffering capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37: 250-254, 1973.
- MEDERSKI, H. J. & WILSON, J. H. - Relation of soil moisture to ion absorption by corn plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24: 149-152, 1960.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. E.; BOHNEN, H. - Recomendações de adubo e calcário para os solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia. UFRGS, 1969. 38p. (Boletim Técnico 2)
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. E.; VOLKWEISS, S. J.; PATELLA, J. F. & MACHADO, M. O. - Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12. Curitiba, 1969. Anais... Curitiba, SBCE, 1971. p.59, 10p. (Mimeo.)
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36, 1962.
- OLSEN, S. R. & DEAN, L. A. - Phosphorus. In: BLACK, C.A. *et alii*, ed. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1035-1049. (Part. 2)
- OLSEN, S. R.; KEMPER, W. D. & JACKSON, R. D. - Phosphate diffusion to plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 222-227, 1962.
- OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. & DANIELSON, R. E. - Phosphate absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25: 289-293, 1961.
- OLSEN, S. R. & WATANABE, F. S. - Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27: 648-653, 1963.
- OZZANE, P. G. & SHAW, T. C. - Advantages of the recently developed phosphate sorption teste over the older extraction methods for soil phosphate. In: INTERNATIONAL SOIL SCIENCE CONGRESS, 8. Madison, 1968. Transactions. Madison, International Soil Science Society, 1968. v.2, p.273-280.
- PORTER, L. K.; KEMPER, W. D.; JACKSON, R. D. & STEWART, B. A. - Chloride diffusion in soils as influenced by moisture content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24: 460-463, 1960.
- VAN DIEST, A.; JESPERSEN, H. W.; WHITE, R. F. & BLACK, C. A. - Test of two methods for measuring a labile fraction of inorganic phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24: 498-502, 1960.