

O FÓSFORO NO SOLO E NA SOJA

Hípólito A.A. Mascarenhas^{1,2}
Roberto T. Tanaka^{1,2}
Edmilson J. Ambrosano^{1,2}

INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros contêm, geralmente, pequenas quantidades de fósforo total e grande parte deste fósforo está numa forma fixada, não disponível para as plantas. Além disso, o fósforo solúvel presente nos fertilizantes é rapidamente fixado quando adicionado ao solo.

Devido à pequena quantidade de fósforo total no solo e à fixação, a maioria dos solos do Estado de São Paulo requer o uso de fertilizante fosfatado, quando em exploração agrícola.

FÓSFORO NO SOLO

Reação do fósforo no solo

O fósforo no solo é classificado em duas categorias principais: a orgânica e a inorgânica. A forma orgânica está presente no húmus e em outros compostos orgânicos, enquanto que a inorgânica encontra-se combinada com ferro, alumínio e outros elementos como o cálcio, formando, geralmente, compostos insolúveis em água.

Fixação do fósforo

A forma predominante do fósforo inorgânico no solo é o ânion fosfato (PO_4^{-2}). Como as partículas do solo são também carregadas negativamente, deveria ocorrer alta mobilidade desse íon, inclusive por meio de lixiviação, como ocorre com o íon nitrato. Contudo, devido à sua alta

¹ Seção de Leguminosas, Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas-SP.

² Bolsista do CNPq.

reatividade com outros elementos químicos da solução do solo, forma sais insolúveis, e conseqüentemente o fosfato é removido da solução do solo (forma disponível) passando para a forma sólida (forma não disponível). Sendo assim, uma das características do fósforo é apresentar baixa mobilidade no solo, uma vez que, decorridas algumas horas da aplicação de sua forma solúvel, praticamente todo ele passa para a forma insolúvel.

Em solos ácidos o fósforo solúvel é fixado pelo ferro e alumínio, enquanto que, em condições neutras ou alcalinas, grande parte do fósforo é fixada pelo cálcio (TABELA I).

TABELA I. Formas de fósforo em alguns solos do Estado de São Paulo.

Solos	P-Ca	P-Fe ativo	P-Fe ocluso	P-Al ativo	P-Al ocluso	P orgânico
TRE	1,90	0,90	3,40	0,07	0,03	0,80
LRE	0,55	0,75	5,00	0,05	0,21	1,37
LRD	0,34	1,00	3,55	0,19	0,04	0,47
LVA	0,12	0,17	1,00	0,03	0,04	0,17

TRE = Terra Roxa Estruturada

LRE = Latossolo Roxo Eutrófico

LRD = Latossolo Roxo Distrófico

LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa

Fonte: JORGE & VALADARES (1969).

O fósforo não é lixiviado, inclusive em solos arenosos, conforme demonstram os estudos em condições de agricultura intensiva, com aplicação elevada de fósforo, revelam que as suas perdas anuais são pequenas. Sendo assim, 99% do fósforo aplicado é recuperado na camada arável do solo, o que indica que muito pouco se movimenta para o subsolo.

Solos levemente ácidos fixam menos fósforo e essa é uma das razões de se efetuar a calagem.

Fósforo na matéria orgânica

A quantidade relativa de fósforo na forma orgânica e inorgânica no solo varia consideravelmente. A forma orgânica do fósforo pode ser convertida à inorgânica disponível, por meio do processo chamado mineralização. Assim como na mineralização do nitrogênio, em condições de aerobiose, a mineralização do fósforo é, também, mais rápida e efetiva.

Fertilizantes fosfatados

Rochas fosfáticas são as fontes de praticamente todos os fertilizantes comercializados no Brasil. Por causa da baixa solubilidade, quando utilizadas após a simples moagem, as rochas fosfáticas são tratadas, principalmente com agentes acidulantes, que as transformam em superfosfatos ou fosfatos de amônio, cuja forma de fósforo é disponível para as plantas. O ácido usado no processo de fabricação dos fertilizantes é todo ele neutralizado, resultando pequeno resíduo ácido quando ele é aplicado ao solo. Alguns dos fertilizantes fosfatados mais comuns estão alistados na TABELA II.

TABELA II. Fontes de fósforo.

Fertilizante	Fórmula química	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	N - P - K
Superfosfato simples	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ +CaS ₄	0-20-0	0-8.8-0
Superfosfato triplo	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0-45-0	0-20.8-0
Mamoaônio fosfato	NH ₄ H ₂ PO ₄	11-48-0	11-21.1-0
Diamônio fosfato	(NH ₄) ₂ HPO ₄	18-46-0	18-20.2-0

Ortofosfato versus Polifosfato

Os fertilizantes com fósforo como H₂PO₄⁻ ou HPO₄⁻²

são chamados ortofosfatos. Polifosfatos contêm uma mistura de ortofosfatos e formas de fósforo como pirofosfato ($HP_2O_7^{-2}$), por exemplo. Polifosfatos comerciais contêm aproximadamente 50% de ortofosfatos e 50% de fosfatos de cadeia longa. O polifosfato era considerado superior ao ortofosfato devido a sua capacidade de formar quelatos com certos micronutrientes. Contudo, pesquisas não apontam diferenças de produtividade ou incremento de assimilação pela planta, sendo as duas fontes igualmente efetivas no suprimento do nutriente.

Efeito da solubilidade em água

A quantidade de fósforo solúvel em água em diferentes fontes varia consideravelmente. Quando o adubo fosfatado é aplicado antes da aração, a quantidade do elemento solúvel em água não é tão relevante. Entretanto, quando aplicado no sulco da semeadura da soja, é necessário que tenha 60% ou mais do seu fósforo solúvel em água. Aumentos da solubilidade de 60 para 100% não trazem aumentos de produtividade.

Fosfato natural versus superfosfato

O uso de fosfato natural, recomendado no lugar do superfosfato, seria para promover um aumento na reserva de fósforo do solo. Os agricultores, entretanto não usam esta prática freqüentemente, devido à baixa solubilidade da aquele fosfato, que ainda só ocorre em solos ácidos. Em vista destes fatores, é óbvio que culturas de rápido crescimento (anuais) não responderão à aplicação de fosfato natural.

Análise do solo

Existem muitos métodos para avaliação da disponibilidade de fósforo no solo, porém o método da resina trocadora, aprimorado pela Seção de Fertilidade de Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agrônomo de Campinas, é aquele que apresenta melhor resultado de correlação para as diferentes condições de textura do solo e fontes de fósforo do adubo. A recomendação da dose para a cultura

da soja está exposta na **TABELA III**.

TABELA III. Recomendação de adubação de fósforo para a cultura da soja no Estado de São Paulo, de acordo com o resultado da análise do solo pelo método da resina trocadora de íons.

Teor no solo	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$			
	0-6	7-15	16-40	>40
P ₂ O ₅ /ha	80	60	40-60	20

Fonte: MASCARENHAS (1985).

FÓSFORO NA PLANTA

Função do fósforo na planta

O fósforo é um dos elementos importantes e necessários para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Ele está associado a muitas funções metabólicas vitais na planta, tais como: utilização de açúcares e amidos, fotossíntese, formação de núcleo e divisão de células e formação de gorduras e do endosperma; portanto, deve estar presente em todas as células vivas. O fósforo é abundante no tecido meristemático de plantas jovens, sendo facilmente redistribuído dentro delas; pode mover-se dos tecidos velhos para os novos, onde ocorre uma maior exigência fisiológica. Na maturidade das plantas, a maior quantidade do fósforo transloca-se para as sementes. No caso da soja, a quantidade percentual de fósforo transferida para as sementes é cerca de 87%.

Análise da planta

A análise de tecidos da planta pode ser uma boa indicação do seu estado nutricional em relação ao fósforo. Recomenda-se amostrar folhas das plantas no estágio de florescimento, pois, neste estágio de desenvolvimento,

os teores podem correlacionar-se com a produtividade. Na **TABELA IV**, pode-se observar a interpretação de níveis de fósforo para folhas na cultura da soja.

TABELA IV. Interpretação dos resultados das análises das folhas de soja em função dos seus teores.

Análise	Deficiente	Baixo	Suficiente	Alto	Excesso
	----- (%) -----				
P	<0,16	0,17-0,25	0,26-0,50	0,51-0,80	>0,80

Fonte: PECK (1979).

Sintomas de deficiência de fósforo nas plantas

Os sintomas de deficiência aparecem em folhas maduras, caracterizados por cor verde escura com pontuações marrons, no estágio de pós-florescimento das plantas. O sistema radicular apresenta desenvolvimento muito reduzido, como também a parte aérea.

RELAÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA COM OUTRAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS

A correção da acidez do solo proporciona liberação de fósforo, anteriormente ligado ao ferro ou alumínio. Pela **TABELA V**, nota-se que o calcário dolomítico aplicado aumentou o fósforo disponível com duplicação de seu teor no solo. Houve, também uma elevação nos teores de cálcio e magnésio e conseqüente diminuição do alumínio.

Não houve resposta de soja aos níveis de fósforo aplicados e, de acordo com análise dos teores nas folhas, pode-se observar que, mesmo na testemunha, os valores encontrados estão em quantidades suficientes (**TABELA VI**). Através dos dados da **TABELA VII**, pode-se visualizar com mais clareza este fenômeno. Em Latossolo Roxo Distrófico

TABELA V. Análise química do solo antes e depois da aplicação de calcário em um Latossolo Roxo Distrófico de cerrado recém-desmatado de Guairá.

Tratamento	P	Ca	Mg	Al
	--µg/ FTSA--	----- meq/100 ml TFSA -----		
Sem calcário	3	0,65	0,32	1,00
Com calcário	6	2,25	1,70	0,20

Fonte: MASCARENHAS et alii (1976).

TABELA VI. Teores de fósforo nas folhas e produtividade de grãos, em função de níveis de P₂O₅ aplicados.

Teores	P ₂ O ₅ (kg/ha)				
	0	40	80	120	160
P nas folhas (%)	0,314	0,357	0,330	0,373	0,380
Produtivid. (kg/ha)	1.562	1.719	1.827	1.729	1.571

Fonte: MASCARENHAS et alii (1976)

de Orlândia observou-se um incremento de 100% em produtividade, apenas com a aplicação de calcário, não se observando resposta a níveis de fósforo. Isto se deve ao fato de a calagem favorecer a liberação de parte do fósforo fixado, e à eliminação do fator limitante que era o complexo acidez do solo. Na ausência de calagem nota-se uma pequena resposta positiva ao P aplicado, porém, com altas doses, respostas possivelmente ao Ca contido no adubo fosfatado. Em solo arenoso de cerrado, na região de Matão-SP, observou-se um incremento na produtividade da soja de 10 vezes, com a aplicação de calcário. Esta resposta se deve, provavelmente, aos baixos teores de cálcio e magnésio do solo, o qual não apresentava alumínio em teores tóxi-

cos. Houve resposta positiva à aplicação de 180 kg/ha de P_2O_5 , na presença de calagem, devido ao baixo teor de fósforo no solo. Não foi observada resposta significativa para a dose de 360 kg/ha de P_2O_5 . Na ausência de calagem as produtividades observadas foram muito baixas, havendo pequena resposta aos níveis de fósforo aplicados, sendo isto devido à alta acidez do solo e a sua capacidade de fixação.

TABELA VII. Efeito da aplicação de fósforo na ausência (s/c) ou presença (c/c) de calagem na produtividade da cultura da soja em dois solos de cerrado do Estado de São Paulo.

Níveis de P_2O_5	Matão		Orlândia	
	S/C	C/C	S/C	C/C
	----- kg/ha -----			
0	85	815	1.078	2.443
180	475	1.404	1.664	2.583
360	743	1.777	1.650	2.457

Fonte: FREITAS (1970).

Para obter sucesso num programa de correção e adubação para a cultura da soja, deve-se efetuar a calagem em abril/maio e repetir a análise do solo em setembro para verificar os teores de fósforo. Se estes estiverem em quantidades adequadas no solo, há necessidade de sua aplicação em doses de manutenção.

Na TABELA VIII podem-se observar dados de produtividade de grãos e quantidades de fósforo, nitrogênio e potássio exportadas por cinco cultivares de soja. Tomando-se como base a produtividade média dos cultivares como sendo de 3.093 kg/ha de grãos, nota-se que a exportação de fósforo, pelos grãos, foi de 16 kg/ha de P, o que equivale a 36,3 kg de P_2O_5 /ha. Esta quantidade corresponde a

80 - 90% do fósforo extraído pela cultura. Como foram aplicados 80 kg/ha de P_2O_5 , conclui-se que foram acumulados no solo cerca de 44 kg/ha de P_2O_5 , admitindo-se que não tenham ocorrido perdas de fósforo. Utilizando-se estas quantidades durante 3 anos consecutivos, teoricamente, teríamos um grande acúmulo do elemento no solo e análise do solo poderia indicar este acúmulo, dispensando a adubação fosfatada.

TABELA VIII. Produtividade de soja (grãos) e quantidade de nutrientes exportados nos grãos de cinco cultivares¹, médias de três localidades.

Análise	IAC-11	IAC-13	IAC-15	Santa Rosa	Cristalina	Média
	----- kg/ha -----					
Grãos	3.324	2.572	3.251	3.047	3.274	3.093
N	194	152	190	188	186	182
P	17	14	17	17	17	16
K	64	48	60	57	59	58

¹ Ciclo: IAC-13 (115 dias); IAC-15 (125 dias); IAC-11 e Santa Rosa (140 dias); Cristalina (155 dias).

Fonte: MASCARENHAS & TANAKA (dados não publicados).

Outro aspecto relacionado com a nutrição de fósforo são as relações deste com o micronutriente zinco. O excesso de fósforo pode acarretar a deficiência induzida de zinco, que pode também ser agravada com calagem pesada, que gera a sua indisponibilidade. Na **TABELA IX**, pode-se comprovar a diminuição do zinco, ano após ano, especialmente sob altas doses de aplicação de calcário e de fósforo.

A fórmula de adubo mais usada para a cultura da soja é: 0-20-20, na dose de 300 a 400 kg/ha. Após o uso dessa fórmula continuamente, por 2 ou 3 anos, na mesma área para soja, há um acúmulo do fósforo no solo (conforme men-

cionado anteriormente), o qual é detectado na análise. Assim sendo, há necessidade de passar para uma fórmula com menor teor de fósforo, como a 0-12-20. Com 300 kg/ha desta fórmula estar-se-iam aplicando 36 kg/ha de P_2O_5 e 60 kg/ha de K_2O , suficientes para alcançar produtividades economicamente satisfatórias.

TABELA IX. Efeito da calagem sobre a produtividade e concentração de zinco nas folhas de soja e sobre alguma característica química da camada superficial de um Latossolo LVA, de Mococa-SP.

Calcário (t/ha)	Produção (kg/ha)	pH ($CaCl_2$)	V (%)	P ($\mu g/cm^3$)	Zn (ppm)
1980/81					
1	1.777	4,3	25	-	110
4	2.726	5,3	50	-	61
7	2.769	6,0	73	-	66
10	2.835	6,1	78	-	58
1981/82					
1	1.906	4,3	14	24	60
4	2.478	4,9	34	30	48
7	2.551	5,6	59	40	43
10	2.503	6,0	69	40	39
1982/83					
1	2.018	4,2	20	26	39
4	2.574	4,9	47	33	30
7	2.798	5,5	69	37	26
10	2.589	5,8	78	47	23

Fonte: MASCARENHAS et alii (1988)

Constatou-se na Alta Mogiana um fato interessante. Um proprietário aplicou, durante 15 anos, em monocultivo de soja, a fórmula 0-18-6. Em consequência, houve no solo acúmulo de fósforo e decréscimo de potássio (TABELA X), o

que acarretou deficiência de potássio em cultivares de soja de elevada produtividade.

TABELA X. Análise de solo de três glebas onde foi plantada soja como monocultura durante 15 anos, em Miguelópolis-SP.

Amostras	pH (CaCl ₂)	MO (%)	P (μg/cm ³)	K	Ca	Mg	V (%)
				--- meq/100 cm ³ ---			
1	5,7	4,3	80	0,02	4,2	1,3	68
2	5,8	3,6	68	0,02	4,3	1,3	70
3	5,7	3,6	57	0,02	4,0	1,2	68

Fonte: MASCARENHAS *et alii* (1987).

Para satisfazer as exigências da cultura da soja, as cooperativas poderiam usar apenas 3 formulações (0-20-20; 0-15-20 e 0-12-20) e através de um monitoramento constante pode-se obter maior economia de fósforo e corrigir distorções de fórmulas utilizadas por longos períodos. Dessa maneira, está-se contribuindo para um maior retorno econômico da cultura da soja, uma vez que estes pequenos detalhes não podem ser menosprezados.

RESUMO

Considerando-se a importância do uso racional do fósforo na agricultura, o presente trabalho apresenta uma revisão sobre as transformações físico-químicas sofridas pelo fósforo quando aplicado ao solo, suas funções na planta, relações fisiológicas com micronutrientes e calagem e métodos de diagnóstico para identificar deficiências, no solo e nas plantas, bem como para orientar as recomendações técnicas de adubação do elemento na cultura da soja.

Palavras-chave: Fósforo, nutrição mineral, soja.

SUMMARY

PHOSPHORUS IN THE SOIL AND IN SOYBEANS

Taking in consideration the rational use of phosphorus in agriculture, this paper presents a literature review of the physico-chemical transformation undergone when applied in the soil, its function in the plant, its relationship to micronutrients and liming. Methods of diagnosis of deficiency in the soil and plant, and recommendations for the use of this element in fertilization of soybeans are discussed.

Key words: Phosphorus, mineral nutrition, soybeans.

LITERATURA CITADA

- FREITAS, L.M.M., 1970. Calagem e adubação da soja em solos de campo cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOJA, 1, Campinas, CATI. 44p.
- JORGE, J.A. & VALADARES, 1969. Faixas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas 28: 23-30.
- MASCARENHAS, H.A.A.; J.R. GALLO; B. VAN RAIJ; T. IGUE & O.C. BATAGLIA, 1976. Efeito da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em Latossolo Roxo Distrófico de cerrado. *Bragantia*, Campinas, 35: 273-278.
- MASCARENHAS, H.A.A., 1985. Soja. In: VAN RAIJ, B. et alii. **Recomendações de Adubo e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico. 20 p. (Boletim Técnico, 100).
- MASCARENHAS, H.A.A.; M.A.C. de MIRANDA; L.G.L. LELIS; E. A. BULISANI; N.R. BRAGA & J.C.V.A. PEREIRA, 1987. **Has te Verde e Retenção Foliar em Soja por Deficiência de Potássio**. Campinas, Instituto Agronômico. 15p. (Boletim Técnico, 119).
- MASCARENHAS, H.A.A.; O.C. BATAGLIA; J.A. QUAGGIO & P.B. GALLO, 1988. Zinco nas folhas de soja em função de calagem. *Bragantia*, Campinas, 47(1): 137-142.
- PECK, T.R., 1979. Plant analysis for production agriculture. In: **Soil Plant Analysis Workshop**, 7, Bridgeton, Proceedings. p.1-45.