



Universidade Federal de Uberlândia

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Disciplina: Adubos e Adubação

Fósforo

Prof. Dr. Gaspar H. Korndörfer

As plantas requerem um suprimento constante de fósforo durante toda sua vida. No início do desenvolvimento as quantidades exigidas são pequenas, aumentando com o tempo. Na época da frutificação as necessidades são atendidas em partes pelas mobilizações das reservas: o fósforo sai dos órgãos mais velhos (das folhas, por exemplo) e se dirige para os frutos em desenvolvimento.

Fósforo é, sem dúvida, o elemento mais importante para a região do cerrado. Os solos de um modo geral são de baixa disponibilidade natural e apresentam elevada capacidade de fixação de fósforo.

A falta do P no solo ou na adubação reflete-se primeiramente na diminuição das colheitas. Quando as reservas diminuem ainda mais, não sendo refeitas através do uso de fertilizantes fosfatados, a planta começa a mostrar “sintoma de deficiência” .

Movimento do fósforo no solo

O fósforo movimenta-se muito pouco na maioria dos solos. Ele geralmente permanece onde é colocado pela intemperização dos minerais ou pela adubação. Desta forma, pouco P é perdido por lixiviação, apesar dele poder movimentar-se um pouco mais em solos arenosos do que em solos argilosos.

A erosão superficial (escorrimento superficial) pode remover partículas de solo contendo P. O escorrimento superficial e a remoção pelas culturas são as únicas formas significativas de perdas de fósforo do solo.

O papel do fósforo

- Estimula o crescimento das raízes;
- Garante uma “arrancada” vigorosa;
- Apressa a maturação;
- Estimula o florescimento e ajuda a formação das sementes;
- Aumenta a resistência ao frio dos cereais de inverno;

Deficiência de P nas Plantas

O primeiro sinal da "fome" de fósforo é um desenvolvimento anormal de toda a planta. O formato da folha pode ficar distorcido. Quando a deficiência é severa, áreas mortas podem aparecer nas folhas, frutos e pecíolos. As folhas mais velhas serão afetadas antes das mais novas. Em milho e algumas outras culturas, uma cor púrpura (arroxeadada) ou avermelhada é, freqüentemente, observada especialmente em baixas temperaturas. Os sintomas visuais não são tão evidentes como no caso das de N e K. A deficiência de P é difícil de ser detectada.

Matéria prima - Rocha Fosfática

Na região do Triângulo Mineiro e Goiás existe uma das maiores jazidas de fosfato da América Latina, só comparáveis com a África e América do Norte. Os nossos fosfatos naturais embora em grandes quantidades são, infelizmente, materiais de muito baixa qualidade para o uso direto na agricultura. Entretanto, para fins de acidulação, isto é, para transformação de formas insolúveis em formas mais solúveis, como SSP, STP, ácido fosfórico, estes fosfatos são de excelente qualidade. Na região do Triângulo possuímos as reservas de Tapira, Patos de Minas, Catalão, Araxá, Lagamar (Coromandel), etc.

Existem 3 grupos de rochas fosfatadas ou fosfatos tricálcicos:

- **Fluorapatitas** $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$
- **Hidroxiapatitas** $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$
- **Carbonatoapatitas** $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$

As rochas fosfatadas predominantes no Brasil são as fluorapatitas que contém baixo teor de flúor, sendo encontradas com maior freqüência na região do Triângulo Mineiro. Entretanto, os fosfatos de rocha não ocorrem na forma pura na natureza. Durante os processos de intemperização ocorrem transformações dos minerais.

A reatividade do fosfato natural está diretamente relacionada com o grau de substituições isomórficas, isto é, quanto maior a substituição do PO_4^{-3} pelo $\text{CO}_3^{-2} + \text{F}$ maior a reatividade do mesmo. As substituições isomórficas deixam a estrutura do mineral mais frágil e fraca, portanto, mais facilmente atacada e em consequência reativa. As substituições isomórficas não ocorrem apenas com o P. O Ca^{+2} também pode ser substituído, exemplo:

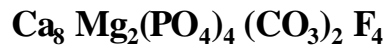


Figura: Jazida de Rocha fosfática da Florida.



As rochas fosfatadas da região do Triângulo Mineiro podem ser recomendadas para a alimentação animal porque apresentam baixos teores de flúor. O nível de substituições isomórficas das rochas nacionais é baixo. Por essa razão que as rochas nacionais são consideradas de baixa reatividade. Por outro lado, algumas rochas importadas (Ex: Carolina do Norte, Gafsa, Marrocos, Arad) podem apresentar um alto

grau de substituição isomórfica, por isso mesmo consideradas de alta eficiência agrônômica, comparadas inclusive aos n-fosfatos solúveis em alguns casos.



Principais Fontes de Fósforo

Superfosfato Simples

Reação de Obtenção:



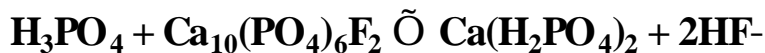
Garantia mínima: 18% de P_2O_5

Características: Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 16% solúvel em água.

Obs: 18-20% de Cálcio (Ca) e 10-12% de Enxofre (S).

Superfosfato triplo

Reação de obtenção:



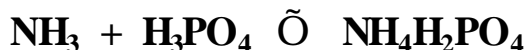
Garantia mínima: 41% P_2O_5

Características: Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água mínimo de 37% solúvel em água.

Obs: 4 -12% da Cálcio (Ca).

Fosfato de amônia

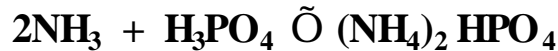
Reação de Obtenção: **Mono-amônio fosfato/MAP**



Garantia mínima: 9% de N e 48% P_2O_5

Características: Fósforo determinado como P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio mais água e mínimo de 44% solúvel em água. Nitrogênio na forma amoniacal.

Reação de obtenção: **Di-amônio fosfato/DAP**



Termofosfato

Reação de obtenção:



Os termofosfatos são preparados através do aquecimento (1000°-1450°C) da rochas fosfáticas (apatitas) que destrói a estrutura da apatita permitindo uma recombinação do (PO_4^{-3}) até formas mais reativas e mais solúveis.

Segundo Stangel (1979) este tipo de produto pode ser mais eficiente comparado com as formas solúveis em água para as regiões tropicais e subtropicais. Os termofosfatos vem preencher uma lacuna entre os fosfatos altamente solúveis e os fosfatos naturais. As suas características de solubilidade lenta e presença de nutrientes secundários (Mg, Ca e Si) e micronutrientes (Mn, Fe, etc.) na sua composição fazem do produto uma alternativa interessante para as regiões tropicais.

Segundo Fenster & Leon (1979) os termofosfatos nas zonas tropicais tem se mostrado em geral superior aos superfosfatos. A explicação para esta observação ainda não está muito clara. Existe, porém, uma diferença marcante entre a solubilidade dos termofosfatos e dos superfosfatos. Os termofosfatos são solúveis em ácido cítrico mas não solúveis em água, embora ambas as formas de P são consideradas disponíveis para as plantas. Talvez o P disponível do termofosfato seja menos vulnerável as reações de retenção de fósforo pelo Fe e Al do solo. Existe ainda a possibilidade do Si estar direta ou indiretamente envolvido com os resultados positivos do termofosfato conforme mostra o trabalho de Fox et al. (1967).



Termofosfato Yoorin

- 18% de P₂O₅ total;
- 16,5% de P₂O₅ sol. em ác.cítrico;
- 9% de Mg;
- 20% de Ca;
- **25% de SiO₄-total;**
- 22% de SiO₄-solúvel em ácido cítrico,

TERMOFOSFATO YOORIN BZ - SP71-1143

Usina Barra Grande/SP

Termofosfato Lanço	Cana Planta	Primeira Soca
---kg/ha-----	--t/ha--	---t/ha---
0	100	65
200	165	97
400	168	108

Termofosfato Lanço	pH* CaCl ₂	P ppm	Ca -----cmm _c /100dm ³ -----	Mg	Al	V %
kg P ₂ O ₅ /ha						
0	5,0	2	0,55	0,49	0,4	36
200	5,6	19	0,68	0,42	0,6	42
400	6,1	40	1,10	0,82	0,3	57

* Resultados obtidos 8 meses após o plantio
Fonte: Rev. bras. Ci. Solo, 15(1):57-61, 1991

CANA PLANTA - IAC/COPERSUCAR

Produção esperada	Nitrogênio	P resina, mg/dm ³			
		0-6	7-15	16-40	>40
<i>t/ha</i>	<i>N, kg/ha</i>	<i>P₂O₅, kg/ha</i>			
>100	30	180	100	60	40
100-150	30	180	120	80	60
>150	30	(¹)	140	100	80

CANA SOCA - IAC/COPERSUCAR

Produção esperada	Nitrogênio	P resina		K ⁺ trocável, mmol/dm ³		
		0-15	>15	0-1,5	1,5-3,0	>3,0
<i>t/ha</i>	<i>N, kg/ha</i>	<i>P₂O₅, kg/ha</i>		<i>K₂O, kg/ha</i>		
<60	60	30	0	90	60	30
60-80	80	30	0	110	80	50
80-100	100	30	0	130	100	70
>100	120	30	0	150	120	90

Relação percentual entre produções obtidas com diferentes fontes de fósforo e a obtida com **Superfosfato Triplo** (800 kg/ha de P₂O₅ total)

<u>FOSFATOS</u>	1^o Cultivo (Trigo)	2^o Cultivo (Soja)	3^o Cultivo (Arroz)
	----- % -----		
Termof. Magnésiano	95	129	112
<i>Termof. IPT</i>	51	90	103
<i>Fosfato Pirocaua</i>	38	91	100
<i>Fosfato Gafsa</i>	95	101	104
<i>Fosfato Patos</i>	11	46	79
<i>Fosfato Araxá</i>	23	48	43
<i>Fosfato Abaeté</i>	8	46	57
<i>Fosfato Catalão</i>	5	28	33
<i>Fosfato Tennessee*</i>	39	98	104
<i>Fosfato Flórida*</i>	61	108	110

* Nível de 400 kg/ha de P₂O₅ total

Goedert & Lobato, Pesq. Agrop. Bras. 15(3):311-318. 1980

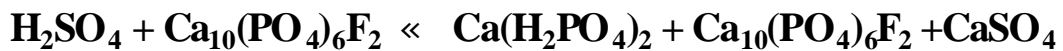
Fosfato Natural

Reação de obtenção:

Rocha fosfatada moída e concentrada.

Fosfato Parcialmente Acidulado

Reação de obtenção:



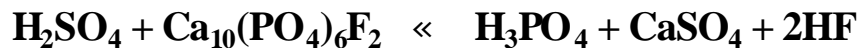
Garantia mínima: 20% de P_2O_5

Características: Fósforo determinado como P_2O_5 total, mínimo de 9% em citrato neutro de amônio mais água ou 11% solúvel em ácido a 2% relação de 1:100, e mínimo de 5% solúvel em água.

Obs: 25-27% de Cálcio (Ca), 0-6% de Enxofre (S) e 0-2% de Magnésio (Mg).

Ácido fosfórico

Reação de obtenção:



Classificação dos adubos fosfatados



1) Solúveis:

- Superfosfatos simples, triplo, duplo e amoniado
- Fosfatos de amônio: Mono-amônio e Di-amônio

2) Parcialmente solúveis:

- Fosfato Parcialmente Solubilizado: FAPS, etc.

3) Insolúveis

- Termofosfatos e escórias
- Fosfatos Naturais
- Farinha de ossos, etc.

SOLUBILIDADE DOS ADUBOS FOSFATADOS

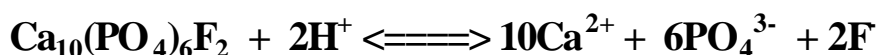
Adubos	% P ₂ O ₅				%			
	Total	Hci	CiNH ₄	H ₂ O	N	Ca	Mg	S
Superfosfatos: triplo	45	39/42	41	37	00	12/04	00	01
simples	21	18/20	18	16	00	18/20	00	10/12
Fosfatos: monoamônio	51	52	48	44	09	00	00	00
diamônio	45	43	45	38	18	00	00	00
Fosf. parcialmente solúvel	20	11	09	05	00	25/27	00	00/06
Termofosfatos	17	14	13	00	00	18/20	07	00
Fosfatos naturais	24	04	1/6	00	00	23/27	00	00

Hci=Ácido cítrico 2% relação 1:100

CiNH₄=Citrato de amônio pH7,0 relação 1:100 + solúvel em água

REAÇÃO DOS FOSFATOS NATURAIS NO SOLO

Os fosfatos naturais são dissolvidos no solo principalmente por efeito da acidez do solo. Assim, quanto mais ácido estiver o solo maior será a reatividade do fosfato natural. Por esta razão, recomenda-se que o fosfato natural seja aplicado antes da calagem. O fosfato natural deve ser incorporado em área total para aumentar a superfície de contato do fosfato com os íons H^+ presentes na solução do solo (Veja reação abaixo). O fosfato natural deve ser, obrigatoriamente, aplicado na forma de pó, a lancha e em área total visando aumentar a superfície de contato com o solo que favorece a dissolução do fosfato. Quanto > o contato com o solo > será a velocidade de dissolução. Quanto < a granulometria > a reatividade do mesmo.



Cada planta reage diferentemente à aplicação de fosfato natural. Algumas tem mais habilidade em aproveitar o P proveniente de fosfatos naturais. As leguminosas, por exemplo (Ex: soja), tem uma maior facilidade em absorver P proveniente de fosfatos naturais do que as gramíneas (Ex: trigo) porque são plantas acidófilas, isto é, acidificam a rizosfera.

O fosfato natural também pode corrigir a acidez do solo. Uma tonelada de fosfato natural pode substituir até 0,5t de calcário.

REAÇÃO DOS FOSFATOS SOLÚVEIS NO SOLO

Ao se aplicar superfosfato triplo ou simples (fosfato monocálcico) ao solo ocorre, imediatamente, uma reação de hidrólise com a formação de ácido fosfórico e fosfato bicálcico numa primeira etapa (Veja reação abaixo). Devido ao pH natural do solo o ácido fosfórico se dissocia até a formação de íons H^+ resultando num abaixamento do pH ao redor do grânulo (pH 1,5).

A elevada acidez ao redor do grânulo é responsável pela solubilização do Fe e Al de óxidos (Fe_2O_3 ; Al_2O_3). O Fe^{3+} e o Al^{3+} "livres" são os principais elementos responsáveis pela retenção ou "fixação" do P na forma de $FePO_4$ ou $AlPO_4$. O P retido ou fixado no solo é não disponível para as plantas. As reações de "fixação" do P são tanto maiores quanto maior for o teor argila, Fe e Al presente no solo.

Quanto maior o tamanho do grânulo do adubo, mais P ficará disponível para a planta. Se o grânulo for pequeno irá sobrar pouco P para a planta.

Solo corrigido	<	fixação
Solo ácido	>	fixação

P não lixivia no solo pois a sua concentração na solução é normalmente muito baixa. Plantas perenes tem maior chance de aproveitar o P proveniente de fosfatos naturais do que plantas anuais.



FOSFATO NATURAL	FOSFATO SOLÚVEL
Preferencialmente para solos mais ácido e argilosos	Para solos corrigidos e qualquer textura
Aplicar antes da calagem	Aplicar depois da calagem
Para solos pobres em Ca e P	Para solos com qualquer teor de Ca e P
Aplicação a lanço e incorporado	Aplicação em linha p/ solos argilosos e lanço para arenosos
Aplicar na forma de pó (85% < 100 mesh)	Aplicar na forma granulada
Para culturas de ciclo longo (Perenes ou Semi-perenes)	Para qualquer cultura

Efeito de vários fosfatos, aplicados com 75 dias antes do plantio, na absorção de P pela soja e no teor de P do solo por três extratores (RAIJ & DIEST, 1980).

Fosfato aplicado	P absorvido (soja)		P Resina		P Mehlich 1		P Bray 1	
	mg/vaso	Índice ¹	mg/kg	Índice	mg/kg	Índice	mg/kg	Índice
<i>Testemunha</i>	3,43e	0	2,0	0	2,8	0	4,2	0
<i>Pato de Minas</i>	4,03de	27▲	1,9	-1	54,8	211▲	5,1	2
<i>Alvorada</i>	4,56cd	50▲	3,7	22	45,6	184▲	12,1	20
<i>Hiperfosfato</i>	5,96a	112	6,9	62	34,8	130	32,5	71
<i>Fosfato de Al</i>	5,15bc	76	6,9	62	17,8	61	43,6	99
<i>Superfosfato</i>	5,68ab	100	9,9	100	27,4	100	43,8	100

⁽¹⁾ O índice considera os tratamentos testemunha como 0 e o superfosfato como 100.

Os resultados mostram os valores de pH e de P nas folhas de soja correspondentes a diferentes níveis de calagem, evidenciando maior disponibilidade de P com a redução da acidez do solo. Pelos resultados de análise de solo percebe-se que apenas a resina avaliou de forma apropriada a disponibilidade de P, os métodos Mehlich 1 e Bray 1 foram insensíveis à mudança proporcionada pela variação do pH, enquanto que o método Olsen indicou decréscimo da disponibilidade do nutriente.

Efeito do pH de um solo lastossolo roxo na produção de soja, no teor de P nas folhas e nos teores de P determinados por diversos extratores (Raij & Quaggio, 1990).

pH em CaCl ₂	Produção soja kg/ha	P Folhas g/kg	P Resina	P		
				Mehlich-1	Bray 1	Olsen
				----- mg dm ⁻³ -----		
4,5d	1734 c	2,35 b	16 c	9a	20a	18 a
4,9c	2246 b	2,69ab	19bc	8a	22a	15ab
6,1b	2483ab	2,88 a	23 b	8a	20a	13ab
6,6a	2622 a	2,85 a	34 a	10a	24a	12 b

-P



MILHO



Figure 4. Phosphorus deficiency.

SOJA

