



# SUPERFOSFATOS SIMPLES

Alfredo Scheid Lopes  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme  
José Francisco da Cunha



# **SUPERFOSFATOS SIMPLES**

## **E OUTROS FERTILIZANTES FOSFATADOS SOLUBILIZADOS INDUSTRIALMENTE VIA ROTA DO ÁCIDO SULFÚRICO**

Alfredo Scheid Lopes  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme  
José Francisco da Cunha



Sindicato Nacional da Indústria de  
Matérias-Primas para Fertilizantes



Associação Nacional para Difusão de Adubos

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA COORDENADORIA  
DE PROCESSOS TÉCNICOS DA BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA DA UFLA**

Lopes, Alfredo Scheid.

Superfosfatos simples e outros fertilizantes fosfatados solubili-  
zados industrialmente via rota do ácido sulfúrico / Alfredo Scheid Lopes,  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme e José Francisco da Cunha. - 2. ed.,  
rev. e ampl. - São Paulo: Ed. Gráfica Nagy, 2016.

72 p.: il

Publicação patrocinada por Sinprifert/ANDA.

Bibliografia

1. Adubação; 2. Fósforo; 3. Fosfatos solúveis. I. Guilherme, Luiz  
Roberto Guimarães. II Cunha, José Francisco da. III. Título.

CDD - 631.85

# SUPERFOSFATOS SIMPLES E OUTROS FERTILIZANTES FOSFATADOS SOLUBILIZADOS INDUSTRIALMENTE VIA ROTA DO ÁCIDO SULFÚRICO

Alfredo Scheid Lopes<sup>1</sup>  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>2</sup>  
José Francisco da Cunha<sup>3</sup>

## Conteúdo

1 - Introdução .....	6
2 - Histórico .....	10
3 - Benefícios .....	12
a) Fornecimento de fósforo, cálcio e enxofre .....	12
b) Fornecimento de fósforo solúvel em água e, ou, citrate neutro de amônio + água .....	14
c) Melhoria do aprofundamento do sistema radicular das culturas .....	24
d) Fornecimento de sulfato de cálcio sem necessidade adicional de aplicação do gesso agrícola .....	38
e) O enxofre é um nutriente importante .....	46
f) Possibilidade de inclusão de micronutrientes .....	53
g) Eliminação ou diminuição da adição de inertes insolúveis no preparo de fórmulas .....	56
h) Grande capacidade instalada de produção com redução das importações de fertilizantes fosfatados .....	63
4 - Considerações finais .....	68
5 - Literatura Consultada .....	71

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, MSc, PhD; Professor Emérito da UFLA, Lavras, MG; Consultor Técnico da ANDA, São Paulo, SP (ascheid@dcs.ufla.br).

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, MSc, PhD; Professor Titular da UFLA, Lavras, MG (guilherm@dcs.ufla.br).

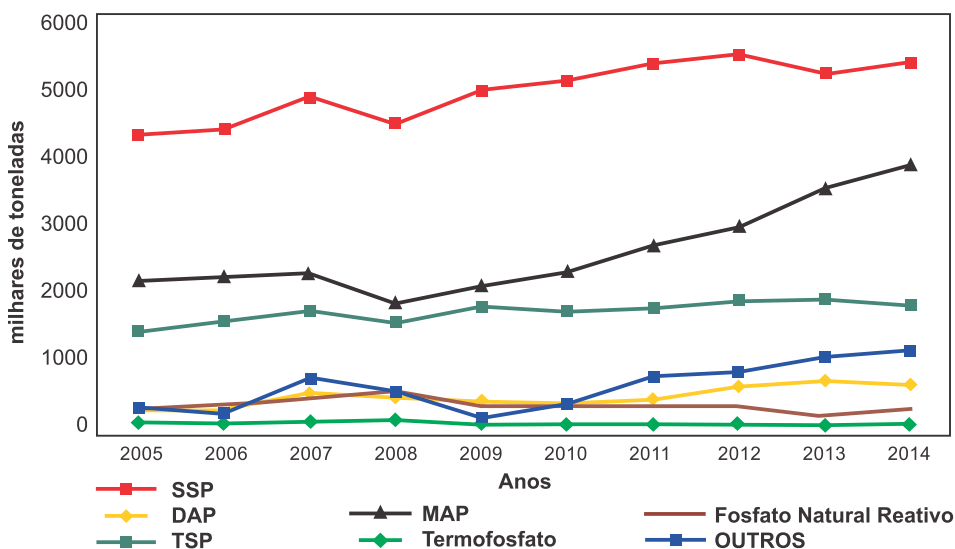
<sup>3</sup>Eng. Agrônomo – Tec-fértil (cunha@agroprecisa.com.br).

# 1 INTRODUÇÃO

A grande maioria dos solos brasileiros apresenta baixa disponibilidade natural de fósforo e alta capacidade de fixação desse nutriente decorrente da condição de acidez. Alia-se a isto, a carência de cálcio, enxofre e o problema da toxicidade de alumínio, não somente na camada superficial, mas também em subsuperfície. Nestas condições, a aplicação de fertilizantes fosfatados que promovam os efeitos de nutrição e melhoria dos solos, mediante o uso de fontes e doses adequadas para se atingir a Produtividade Máxima Econômica (PME), com sustentabilidade, tem sido uma preocupação constante.

Embora o superfosfato simples seja o fertilizante fosfatado mais consumido no Brasil, nos últimos anos tem havido uma tendência de diminuição na sua participação do consumo total de fertilizantes (Figura 1). De 2005 para 2014 enquanto o consumo total de fertilizantes cresceu 59,5% passando de 20,19 para 32,21 milhões de toneladas, o consumo de superfosfato simples aumentou apenas 25,3% saindo de 4,32 para 5,42 milhões de toneladas no mesmo período. Nota-se pela Figura 1, que houve um aumento mais expressivo no consumo de MAP, o qual, porém, ainda é altamente dependente de importação. Como registro, ressalta-se que a capacidade instalada de produção de MAP no Brasil equivalia a 38,2% do consumo total em 2014, enquanto que, no caso do superfosfato simples, havia uma capacidade instalada equivalente a 162% do consumo.





**Figura 1**

Evolução do consumo de fertilizantes fosfatados no Brasil (2005 a 2014)

Fonte: Sinprifert

Mesmo reconhecendo que outras fontes de fósforo têm também seu espaço no processo produtivo da agricultura brasileira, são inúmeros os benefícios do superfosfato simples e de outros fertilizantes fosfatados de baixa concentração decorrentes da rota de solubilização de rochas fosfáticas com ácido sulfúrico, benefícios estes que muitas vezes são desconhecidos dos produtores rurais e até mesmo dos técnicos que prestam assistência a estes produtores.

Diante disso, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de: a) sintetizar um histórico sobre os fertilizantes fosfatados de baixa concentração obtidos via rota sulfúrica, notadamente o superfosfato simples; e, b) mostrar que são relevantes os benefícios comparativos desses produtos em relação aos demais fertilizantes fosfatados.



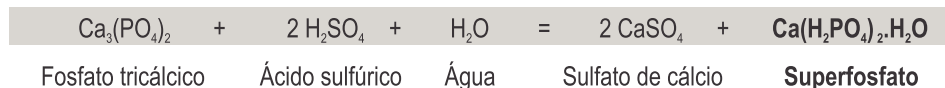


## 2 HISTÓRICO

Liebig, em seu famoso relatório de setembro de 1840, dirigido à *British Association*, recomendou a decomposição de ossos por meio de ácidos sulfúrico e clorídrico, como um meio de fornecer às plantas um nutriente que, por assim dizer, devido à sua forma particular de combinação, deveria ser “digerido” antes de ser aplicado. Suspeita-se que não só concebeu a idéia do tratamento ácido dos ossos mas também colocou-a em prática (Gray, 1944). Considera-se, entretanto, que o inglês John B. Lawes foi o primeiro a obter superfosfato – fosfato monocálcico + sulfato de cálcio – a partir dos ossos, visto ter requerido uma patente para obter o privilégio da invenção (Van Kauwenbergh et al., 2013).

Os materiais fosfatados empregados na manufatura do superfosfato variam grandemente na sua composição. Segundo Malavolta (1967), raramente se usava material que contivesse menos de 50% de fosfato tricálcico e as impurezas encontradas comumente nos fosfatos naturais são matéria orgânica,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , sílica, óxidos de ferro e de alumínio (sesquióxidos). Os fosfatos de rocha com mais de 4% de óxido de ferro estão sujeitos a muitas objeções, sendo desejável que não contenham mais de 2%, pois, em primeiro lugar é necessário usar-se quantidades maiores de ácido sulfúrico e depois, o superfosfato feito com material rico em sesquióxidos não tem boas propriedades físicas (Collings, 1955).

A marcha de fabricação passa por várias fases (Young & Davis, 1980): 1) Moagem do fosfato; 2) Acidulação; 3) Reação; 4) Cura; 5) Beneficiamento e, ou, granulação. As fases de acidulação e reação são as mais críticas e complicadas, pois é necessário calcular a quantidade certa de ácido sulfúrico a usar para se obter a reação 1, o que é de grande importância, uma vez que usando-o em excesso, além do gasto inútil do reativo, obtém-se um superfosfato com muito ácido fosfórico livre (reação 2), portanto higroscópico e com tendência para formar grumos.

**Reação (1):****Reação (2):**

Se, pelo contrário, faltar  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , obtém-se menos fosfato monocálcico (superfosfato) e mais fosfato bicálcico, enquanto que uma quantidade maior de fosfato tricálcico não será atacada (reação 3).

**Reação (3):**

Convém ressaltar que a reação 2 é aquela que resulta na produção do ácido fosfórico que será utilizado na fabricação de superfosfato triplo (TSP), MAP e DAP, os quais praticamente não possuem o sulfato de cálcio incorporado na sua formulação, ou seja, não são carreadores de enxofre em quantidade significativa.

A etapa de cura corresponde ao período que o produto, ainda contendo ácido livre e fosfatos para serem solubilizados, permanece em pilhas para atingir o máximo de solubilização esperado. A reação é variável conforme a natureza dos fosfatos utilizados e, algumas vezes, exige a remoção ou movimentação do produto com equipamentos para auxiliar esta continuidade de reação. Após este período, o produto pode ser beneficiado para preparação de produtos farelados ou enviado para granulação como fertilizante simples ou com outros fertilizantes.

# 3 BENEFÍCIOS

## a) Fornecimento de fósforo, cálcio e enxofre

A legislação brasileira que aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura está contemplada na Instrução Normativa N° 5, de 23 de fevereiro de 2007, alterada pela Instrução Normativa N° 21, de 16 de abril de 2008 (vide <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17655>). No seu anexo II, estão descritas as especificações dos fertilizantes fosfatados de baixa concentração, os quais contemplam o superfosfato simples e outros fertilizantes minerais simples, decorrentes da rota de solubilização pelo uso de ácido sulfúrico (Tabela 1).

A principal característica desses fertilizantes é que, além do fornecimento de fósforo, determinado em citrato neutro de amônio + água, com garantia mínima de solubilidade em água, há também cálcio, enxofre e, eventualmente, nitrogênio e magnésio.

**Tabela 1**

Especificações da legislação brasileira para fertilizantes fosfatados de baixa concentração obtidos via rota sulfúrica

Fertilizante	Garantia mínima	Características	Obtenção	Observação
Superfosfato simples	18% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 16% de Ca 8% de S	Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) mais água e mínimo de 15% solúvel em água. Cálcio e enxofre total	Reação de concentrado apatítico moído com ácido sulfúrico	
Superfosfato simples amoniado	1% de N 14% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 14% de Ca 6% de S	Nitrogênio na forma amoniacal. Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em CNA mais água	Reação do superfosfato simples pó com amônia e ácido sulfúrico	A somatória de N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em CNA mais água deve ser no mínimo de 18%
Fosfato acidulado sulfúrico	15% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 15% de Ca 10% de S	Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em CNA mais água e mínimo de 60% desse teor solúvel em água	Reação de rocha fosfática moída com ácido sulfúrico	
Multifosfato magnesiano	18% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 8% de Ca 3% de Mg 6% de S	Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em CNA mais água e mínimo de 8% solúvel em água. Cálcio, magnésio e enxofre total. Granulometria: Partículas deverão passar no mínimo 90% na peneira de 2,8 mm (ABNT N° 7) e passar no máximo 35% na peneira de 0,5 mm (ABNT N° 35)	Reação de fosfato natural ou concentrado apatítico moído com ácido sulfúrico e óxido de magnésio	

Fonte: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=14142>

Cabe uma nota neste ponto, pois a citada Instrução Normativa N° 05 se encontra em revisão e provável publicação em tempo próximo a esta edição, sendo destacado que para o Superfosfato Simples a garantia mínima de enxofre passará a ser de 10% e o fósforo solúvel em água exigido será de 16%.

A presença do enxofre nesses fertilizantes minerais simples é um dos principais fatores para a obtenção de alta eficiência agrônômica desses produtos, uma vez que a grande maioria dos solos brasileiros, notadamente os localizados na região dos cerrados, apresenta deficiência desse nutriente. Estima-se que 70% dos solos brasileiros respondam positivamente a adubação com enxofre.

O enxofre tem um papel direto importante na nutrição das culturas, colaborando também para melhorar a eficiência de aproveitamento de outros nutrientes, como o nitrogênio. Vê-se, pois, que estes fertilizantes fosfatados, além de proporcionarem efeitos favoráveis ao desenvolvimento radicular pelo seu papel como melhorador do subsolo, são também excelentes fontes de cálcio e enxofre prontamente assimilável.

As exigências de fósforo, cálcio e enxofre – nutrientes que compõem os fertilizantes fosfatados de baixa concentração acidulados via rota sulfúrica –, para a produção das principais culturas é apresentada na Tabela 2. Embora para a maioria das culturas as exigências em fósforo sejam superiores às de enxofre, para algumas culturas o inverso é verdadeiro como mostram os valores da Tabela 2.



**Tabela 2**

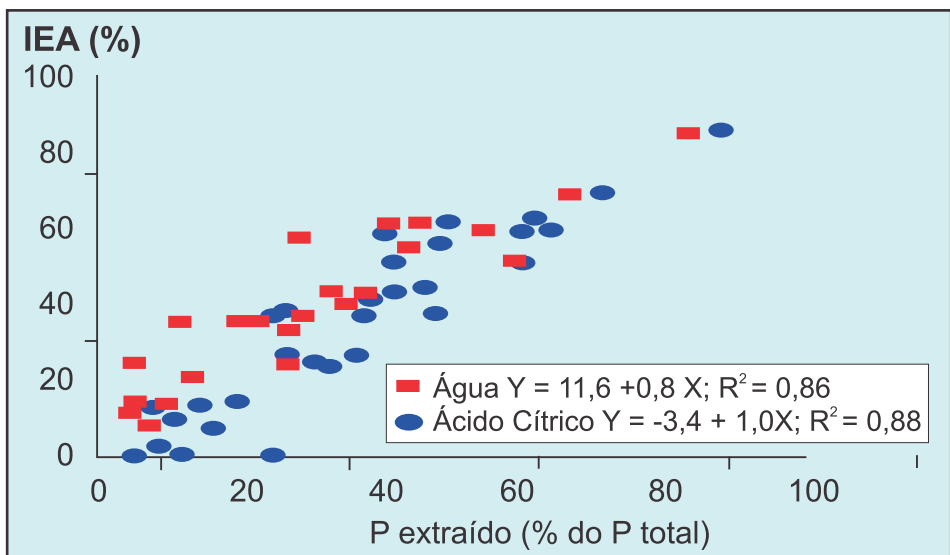
Exigências de fósforo, cálcio e enxofre para produção das principais culturas

Cultura	Parte	Produção	P	kg			
				Equivalente em P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	S	
Algodoeiro <sup>(1)</sup>	Extração Exportado	300	@ em caroço	31,0	71,0	238,0	58,0
				14,0	32,1	30,9	36,0
Arroz <sup>(2)</sup>	Extração Exportado	8.000	kg/ha	34,4	78,8	40	24
				25,6	58,7	6,4	17,6
Amendoim <sup>(1)</sup>	Grãos	3.000	kg/ha	6	13,7	1,5	6
Café <sup>(1)</sup>	Grãos	1.200	kg/ha	1,2	2,7	3,2	1,4
	Casca	1.200	kg/ha	1,7	3,8	4,9	1,8
Cacau <sup>(1)</sup>	Amêndoas	1.000	kg/ha	2	4,6	1	1
	Casca	2.000	kg/ha	0,5	1,1	2	1
Cana-de-açúcar <sup>(1)</sup>	Colmos	100.000	kg/ha	10	22,9	60	25
	Folhas	25.000	kg/ha	10	22,9	40	20
Eucalipto <sup>(1)</sup>	Caule	355	m <sup>3</sup> /ha	27	61,9	498	128
Feijão <sup>(2)</sup>	Extração Exportado	2.500	kg/ha	22,5	51,6	135	62,5
				10	22,9	7,75	14,25
<b>Hortaliças<sup>(1)</sup></b>							
Alface	Folhas	55.000	plantas/ha	10	22,9	17	2
Tomate	Frutos	50	t/ha	18	41,2	7	14
Laranja <sup>(1)</sup>	Frutos	30	t/ha	6	13,7	15	3,9
Mandioca <sup>(1)</sup>	Raiz	19	t/ha	4	9,28	12	1,5
Milho <sup>(2)</sup>	Extração Exportado	9.000	kg/ha	38,7	88,7	35,1	23,4
				34,2	78,4	4,5	9,9
<b>Pastagens<sup>(1)</sup></b>							
Gramineas	matéria seca	5.000	kg/ha	10	22,9	25	5
Leguminosas	matéria seca	5.000	kg/ha	15	34,4	65	10
Soja <sup>(2)</sup>	Extração Exportado	3.500	kg/ha	25,6	58,5	45,85	29,05
				19,3	44,1	10,15	10,5
Trigo <sup>(2)</sup>	Extração Exportado	3.500	kg/ha	13,7	31,3	8,4	12,25
				11,2	25,7	0,7	4,2

Fonte: <sup>(1)</sup> adaptado de Malavolta (2006); <sup>(2)</sup> adaptado de Pauletti (1998).**b) Fornecimento de fósforo solúvel em água e, ou, citrato neutro de amônio + água**

Um outro benefício dos fertilizantes acidulados pela rota sulfúrica é a presença de formas de fósforo solúvel em citrato neutro de amônio mais água, contendo ainda elevada fração solúvel em água. Um trabalho

clássico, desenvolvido nos anos 80, comparou o Índice de Eficiência Agronômica (IEA%) de vários fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico, a partir de fosfatos naturais de Araxá, Patos, Catalão, Tapira, Olinda e Anitápolis. Os resultados desses estudos, mostrados na Figura 2, indicaram que a eficiência inicial estaria intimamente ligada ao percentual do fósforo total que é extraído em água ou em ácido cítrico (Goedert e Sousa, 1984). Em outras palavras, quanto maior fosse a percentagem de fósforo, extraída com água ou ácido cítrico, em relação ao teor total, maior seria o IEA%.



**Figura 2**

Correlação entre a eficiência agronômica (IEA) e a taxa de extração de fósforo por água e por ácido cítrico (AC), de fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico, a partir de fosfatos naturais de Araxá, Patos, Catalão, Tapira, Olinda e Anitápolis.

**Fonte: Goedert & Sousa (1984)**

Embora esse trabalho tenha sido desenvolvido com o objetivo de avaliar fosfatos parcialmente acidulados, poder-se-ia inferir que para os fertilizantes minerais simples, como é o caso do superfosfato simples e o

superfosfato triplo, que apresentam alto grau de solubilidade tanto em ácido cítrico quanto em água em relação ao teor total, o IEA (%) estaria no topo da reta.

Levando-se em conta as especificações de garantias dos fertilizantes, a base da tomada de decisão para a dose de fósforo a ser utilizada era, conforme a legislação de 1975, feita a partir da quantidade solúvel em ácido cítrico, sendo os teores solúveis em água, uma indicação adicional. Posteriormente, com as alterações que ocorreram em 1983, passou a ser sobre a quantidade solúvel em citrato neutro de amônio + solúvel em água (CNA+água). A indicação da solubilidade em água deixou de ser exigida para os fertilizantes compostos, sendo necessária apenas para os fertilizantes simples, como uma forma de melhor caracterizá-los.

Deve-se ressaltar ainda que nessa época não havia dados na pesquisa brasileira avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados solúveis em citrato neutro de amônio + água e nem a legislação brasileira previa essa caracterização, espaço que somente veio a ser aberto a partir de 1983, prevalecendo até os dias atuais.

Um desafio para a produção de superfosfato simples com a utilização de rochas fosfáticas nacionais era que os teores mínimos de fósforo solúvel em citrato neutro de amônio + água e solúvel em água nem sempre eram possíveis de serem atingidos utilizando essas rochas com presença mais elevada de impurezas com ferro e alumínio na forma de  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . Lavres Junior et al., (2008) afirmam que esses problemas existem quando a concentração de  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$  for próxima ou superior a 3%. Na década de 50, já se afirmava que fosfatos de rocha com mais de 4% de óxido de ferro estariam sujeitos a muitas objeções, sendo desejável que não contivessem mais de 2%, pois, em primeiro lugar, seria necessário usar grandes quantidades de ácido sulfúrico e, também, depois, o superfosfato produzido com materiais ricos em sesquióxidos não teria boas propriedades físicas (Collings, 1955).

A presença de impurezas com ferro e alumínio nos fosfatos acidulados via rota sulfúrica levantou a preocupação de que os compostos de fósforo insolúveis iriam reduzir a eficiência agrônômica desses fertilizantes pela diminuição da solubilidade em água (Sikora & Giordano, 1995). Com base neste conceito, a Comunidade Econômica Européia adotou que o percentual de 93% do fósforo solúvel em citrato neutro de amônio deveria ser solúvel em água nos fosfatos totalmente acidulados comercializados na sua área de atuação (Council, 1976). Entretanto, Johnston (1999), em um extenso trabalho de revisão de literatura, comentou que não havia base científica para a exigência de nível tão alto de fósforo solúvel em água nos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados.

Alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil ajudaram a esclarecer esses pontos que levaram a modificações na legislação brasileira, permitindo a inclusão de outros fertilizantes completamente acidulados via rota sulfúrica (Tabela 1).

Um desses trabalhos foi desenvolvido a campo com a cultura da soja, envolvendo dez fontes de fósforo que foram coletadas em unidades revendedoras de fertilizantes comerciais ou produzidas em laboratório de tal forma a se obter superfosfato simples com variabilidade na solubilidade em água e citrato neutro de amônio + água (CNA + água), sendo usado como fonte padrão de fósforo a fração solubilizada, filtrada e cristalizada de um superfosfato triplo (Prochnow et al., 2001). As fontes de fósforo utilizadas e as respectivas análises químicas são mostradas na Tabela 3.



**Tabela 3**

Análises químicas das fontes de fósforo

Fonte de P <sup>(1)</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	fi <sup>(2)</sup>
	Total	CNA + água	H <sub>2</sub> O %			
FMC	48,2	47,4	40,9	1,7	1,6	86,3
FAR	18,9	16,5	11,7	2,1	0,8	70,9
FFM	16,9	15,5	10,0	1,9	0,7	64,5
FC	15,2	13,3	3,1	1,9	0,8	23,3
FL	20,9	18,0	13,1	2,3	0,9	72,7
FMG	21,2	16,7	13,0	2,4	0,9	77,8
DUR	22,8	18,1	10,7	2,1	1,1	59,1
MR	20,5	17,0	13,6	2,1	0,9	80,0
FI	19,2	17,0	12,0	n.d.	n.d.	70,6
FS	20,4	19,2	15,4	0,5	1,5	80,2
EK	20,2	17,7	16,0	0,5	0,4	90,4

(1) **FMC**: fonte padrão de P (Fosfato monocálcico); **FAR**: SSP produzido com a rocha de Lagamar; **FFM**: adição de 1,1% de MgO ao FAR; **FC**: Adição de 30% de concinal (Ihithothamium) ao FAR; **FL**: FAR granulado; **FMG**: FAR microgranulado; **DUR**: excesso de secagem para obter grânulos mais duros; **MR**: FAR friável; **FI**: adição de micronutrientes ao FAR; **FS**: SSP produzido de rocha de Araxá; **EK**: SSP produzido com rocha de Togo;

(2) **fi**: percentagem de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água no P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA + água; n.d.: não determinado; teores semelhantes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de devem ser esperados àqueles apresentados no FAR ou FL.

Fonte: Prochnow et al. (2001)

As fontes de fósforo mostradas da Tabela 3, excluindo a fonte padrão FMC, apresentaram alta variabilidade para o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA + água (13,3 a 19,2%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água (3,1 a 16,0%) e percentagem de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água na fração CNA + água (23,3 a 90,4%), mostrando que processos e materiais usados na produção das fontes de fósforo – incluindo o tipo de rocha fosfática –, interferem na solubilidade dos fertilizantes e, possivelmente, iriam interferir nas respostas agrônômicas dessas fontes.

As dez fontes de fósforo e a fonte padrão (FMC) mostradas na Tabela 3 foram aplicadas em linha (3 cm abaixo e 2 cm ao lado das sementes) na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA + água. Esta dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi escolhida tendo como base o teor de fósforo no solo para fornecer

suficiente fósforo para alcançar alta produtividade de soja. As fontes de fósforo foram aplicadas com base no teor de  $P_2O_5$  disponível em CNA + água, ao invés do teor de  $P_2O_5$  total, uma vez que fertilizantes fosfatados no Brasil são comercializados com base no teor disponível em CNA + água (Prochnow et al., 2001). Aplicando-se  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  solúvel em CNA + água, obteve-se uma amplitude na quantidade de  $P_2O_5$  total e  $P_2O_5$  solúvel em água de 81,4 a 101,6 e 18,7 a 72,3  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

A produção de soja foi afetada de modo significativo quando se considerou a testemunha sem fósforo e as onze fontes de fósforo aplicadas ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) como variáveis independentes ( $p \leq 0,05$ ), mas a comparação das médias pela DMS mostra que diferenças significativas somente foram obtidas entre a testemunha (sem fósforo) e todas as fontes de fósforo, ou seja, a produção da parcela testemunha (sem fósforo) foi menor do que as obtidas pela adição das diferentes fontes de fósforo (Tabela 4).

Os resultados obtidos nesse estudo concordam com os relatados por Mullins & Evans (1990) e Mullins & Sikora (1990), que encontraram que a variação na solubilidade em água de fertilizantes fosfatados completamente acidulados (81 a 94% de fósforo disponível como solúvel em água para superfosfatos triplos e 81 a 100% para fosfato de monoamônio) não afetou as produtividades e que a performance dos fertilizantes foi pobremente afetada pelo teor de fósforo solúvel em água.

A conclusão desse trabalho de Prochnow et al., (2001) foi que os fertilizantes atuaram adequadamente como fonte de fósforo para a soja quando aplicados em linha sob condições de campo, e que o teor de fósforo solúvel em água não influenciou a performance dos fertilizantes. Os autores recomendaram ainda a condução de novos experimentos de campo com a necessidade de esclarecer a necessidade de alta solubilidade em água para os fertilizantes fosfatados completamente acidulados e também verificar se os padrões de solubilidade em água adotados na legislação brasileira são suportados por dados científicos.

**Tabela 4**Produtividade de soja em decorrência da aplicação de  $P_2O_5$  de diferentes fontes

Fonte de P <sup>(1)</sup>	Produtividade de soja	DMS 1 <sup>(2,4)</sup>	DMS 2 <sup>(3,4)</sup>
	kg ha <sup>-1</sup>		
Testemunha (sem P)	1.775,3	B	
FMC	3.363,2	A	A
FAR	3.102,8	A	A
FFM	3.215,0	A	A
FC	3.150,0	A	A
FL	3.332,3	A	A
FMG	3.191,8	A	A
DUR	3.273,3	A	A
MR	3.357,7	A	A
FI	3.220,5	A	A
FS	3.331,8	A	A
EK	3.276,5	A	A
Observações		35	33
DMS		561,28	561,34
C.V. (%)		10,2	10,1

(1) **FMC**: fonte padrão de P (Fosfato monocálcico); **FAR**: SSP produzido com a rocha de Lagamar; **FFM**: adição de 1,1% de MgO ao FAR; **FC**: Adição de 30% de concinal (Ihithothamium) ao FAR; **FAR** granulado; **FMG**: FAR microgranulado; **DUR**: excesso de secagem para obter grânulos mais duros; **MR**: FAR friável; **FI**: adição de micronutrientes ao FAR; **FS**: SSP produzido de rocha de Araxá; **EK**: SSP produzido com rocha de Togo.

(2) **DMS 1**: comparação entre médias na coluna considerando todas as fontes de fósforo + testemunha.

(3) **DMS 2**: comparação entre médias na coluna considerando as fontes de fósforo (testemunha excluída).

(4) Valores seguidos da mesma letra na coluna não são estatisticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Prochnow et al. (2001)

Outros trabalhos foram realizados por Prochnow e colaboradores com o intuito de estudar mais o assunto sob o ponto de vista de melhorar a utilização de rochas fosfáticas brasileiras. Em um estudo empregando-se fosfatos totalmente acidulados com solubilidade variável em água e produzidos a partir de concentrados apatíticos com graus variáveis de  $R_2O_3$  (designação dada a soma dos óxidos de ferro e alumínio:  $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ ) e contendo compostos do tipo Fe-P, verificou-se que a eficiência de fertilizantes acidulados com apenas 46% de  $P_2O_5$  solúvel em água na fração solúvel em CNA + água foi de 91% daquela obtida com a fonte padrão de fósforo para plantas de arroz de sequeiro e tão eficiente quando

a fonte padrão de fósforo para arroz inundado (Tabela 5, Prochnow et al., 2003a). Os dados obtidos sugeriram ainda que fosfatos totalmente acidulados com menor solubilidade em água do que as previstas na legislação brasileira, contendo compostos do tipo Fe-P, podem ser agronomicamente mais efetivos em solos inundados do que aqueles aerados, devido ao fato de as condições de redução durante a inundação promoverem a dissolução de fosfatos de ferro.

**Tabela 5**

Eficiência agrônômica relativa (EAR%) de três superfosfatos simples em relação à fonte padrão de fósforo (FMC) para plantas de arroz de sequeiro e de arroz inundado

Fonte de P <sup>(1)</sup>	FPSA <sup>(2)</sup>	Matéria seca	P acumulado
<b>Arroz de sequeiro</b>			
FMC	99	100	100
SSP GCA	86	98	88
SSP FCA	80	96	93
SSP RCA	46	91	76
<b>Arroz inundado</b>			
FMC	99	100	100
SSP GCA	86	97	94
SSP FCA	80	111	110
SSP RCA	46	102	85

(1) FMC = fonte padrão de P; SSP GCA = superfosfato simples produzido a partir de concentrado apatítico grosso oriundo da rocha fosfática de Araxá; SSP FCA = superfosfato simples produzido a partir de concentrado apatítico fino oriundo da rocha fosfática de Araxá; SSP RCA = superfosfato simples produzido a partir de concentrado apatítico refltável oriundo da rocha fosfática de Araxá;

(2) FPSA =  $(P-H_2O \times 100) / P-CNA + H_2O$ .

EAR =  $(\beta_i / \beta_{FMCpa}) \times 100$ , i = SSP

Fonte: Prochnow et al. (2003a)

As conclusões do trabalho anterior foram colocadas novamente à prova em trabalho realizado a partir de composto do tipo Fe-P, normalmente presentes em fertilizantes fosfatados acidulados, sintetizados em condições de laboratório (Prochnow et al., 2003b). Os resultados deste novo estudo confirmaram que os compostos do tipo Fe-P comportaram-se mais eficientemente como fonte de fósforo quando aplicados em condições de solo inundado (Tabela 6), com a Eficiência Agrônômica



Relativa (EAR%), em termos de matéria seca, do H8-sin e H14-sin aumentando de 32% para 55% e de 72% para 102%, respectivamente, quando foram comparadas com fonte padrão de fósforo (FMC p.a.) em arroz de sequeiro e arroz inundado. No caso de fósforo acumulado, a EAR aumentou de 33% para 75% para o H8-sin e de 73% para 104% para o H14-sin.

**Tabela 6**

Eficiência Agronômica Relativa (EAR%) dos compostos H8-sin e H14-sin em relação à fonte padrão de fósforo (FMC) para plantas de arroz de sequeiro e inundado

Fonte de P <sup>(1)</sup>	Matéria seca	P acumulado
<b>Arroz de sequeiro</b>		
FMC	100	100
H8-sin	32	33
H14-sin	72	73
<b>Arroz inundado</b>		
FMC	100	100
H8-sin	55	75
H14-sin	102	104

(1) FMC=Fosfato monocálcico monohidratado p.a. (fonte padrão de P); H8-sin=Fe<sub>3</sub>KH<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>·6H<sub>2</sub>O com 28,42, 19,34e0,03% de Ptotal, Psolúvelem citratoe Psolúvelem água respectivamente; H14-sin=Fe<sub>3</sub>KH<sub>14</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>·4H<sub>2</sub>O com 23,78,22,78e0,20% de Ptotal, Psolúvelem citratoe Psolúvelem água respectivamente; EAR=(β<sub>i</sub>/β<sub>FMCpa</sub>)x100, i =fontedeP.

Fonte: Prochnow et.al.(2003b)

Neste mesmo estudo, foi avaliada a necessidade mínima de fósforo solúvel em água para obter a produção máxima de arroz de sequeiro e de arroz inundado pelo preparo de misturas de compostos do tipo Fe-P sintetizados em laboratório (praticamente insolúveis em água) com FMC (praticamente 100% solúvel em água). Os resultados obtidos indicaram

que solubilidades em água bem inferiores àquelas previstas pela legislação brasileira foram necessárias para atingir a produção máxima das duas culturas, com o arroz inundado exigindo menos do que 40% de  $P_2O_5$  solúvel em água em relação ao fósforo solúvel em CNA + água.

Para obtenção de 90% da produção máxima (patamar utilizado em vários trabalhos científicos para estimar a dose econômica), a necessidade de fósforo solúvel em água foi sempre inferior a 45%. Estes resultados estão em concordância com vários outros estudos, entre os quais destacam-se os de Sikora et al., (1989), Mullins e Sikora (1992), Mullins e Sikora (1995), Mullins et al., (1995) e Johnston (1999).

Em trabalho mais recente, Silva (2013) avaliou fertilizantes fosfatados com solubilidade em água variada em estudos de caracterização e em testes em condições de vasos e de campo com a cultura da soja, determinando que os fertilizantes que apresentavam a fração de fósforo solúvel em água acima de 60% da quantidade de fósforo solúvel em CNA+Água foram tão ou mais eficientes que as fontes de maior solubilidade em água. Os resultados obtidos com a cultura de soja em experimento de campo na região de Itiquira-MT estão resumidos na Tabela 7.

### Tabela 7

Produção de soja e Eficiência Agronômica Relativa (EAR%) de fertilizantes fosfatados com solubilidade em água variada.

Fonte de P <sup>(1)</sup>	kg ha <sup>-1</sup> Soja	EAR%
Controle	1.677	-
FSR-50%	2.515	62
FAS-60%	3.219	114
FAS-70%	2.976	96
SSP-85%	3.030	100

FSR = fertilizante com solubilidade reduzida; FAS = fertilizante acidulado sulfúrico; SSP = Superfosfato Simples. Os números referem-se ao percentual de P solúvel em água em relação ao solúvel em CNA+água. DMS = 425. CV = 15,9%

Fonte: Silva (2013)

### c) Melhoria do aprofundamento do sistema radicular das culturas

Um dos efeitos mais marcantes dos fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica, como o superfosfato simples, é a melhoria do aprofundamento do sistema radicular das culturas, principalmente na região dos cerrados. Isso acontece, pois é sabido que um dos fatores mais limitantes à produção agrícola nessa região é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e limitado desenvolvimento do sistema radicular de várias culturas imposto pela deficiência de cálcio e toxidez de alumínio no subsolo.

A toxidez de alumínio e a deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais é amplamente documentada em vários trabalhos de pesquisa desenvolvidos no Brasil. Estima-se que 70% dos solos brasileiros apresentem esse tipo de problema. Para ilustrar esse fato apresentam-se os dados da Tabela 8 obtidos por Brasil. Ministério da Agricultura (1967).

**Tabela 8**

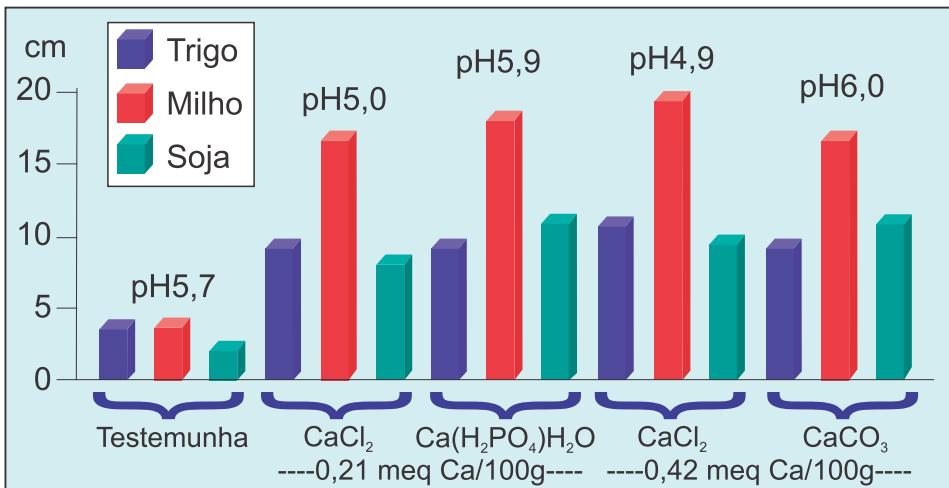
Características de dois solos típicos da região dos Cerrado no Brasil, considerando-se a camada superficial e as camadas subsuperficiais.

Camada cm	pH em água	Argila %	Ca + Mg			Saturação por Al %
			Al	meq100 cm <sup>-3</sup>		
<b>Latossolo Vermelho Escuro</b>						
0-10	4,9	45	1,9	0,4	0,10	79
10-35	4,8	48	2,0	0,2	0,05	89
35-70	4,9	47	1,6	0,2	0,03	88
70-150	5,0	47	1,5	0,2	0,01	88
<b>Latossolo Vermelho Amarelo</b>						
0-12	5,0	45	1,8	0,2	0,08	86
12-30	5,0	44	1,4	0,2	0,05	87
30-50	5,2	48	0,6	0,2	0,03	75
50-85	4,9	48	0,01	0,2	0,02	5
85-120	5,0	47	0,01	0,2	0,02	5

Fonte: Brasil. Ministério da Agricultura (1967).

Embora ambos os solos tenham características relativamente semelhantes quanto ao pH em H<sub>2</sub>O e à percentagem de argila em todas as camadas, o Latossolo Vermelho Escuro apresenta séria toxidez por alumínio e deficiência de cálcio em todas as camadas enquanto o Latossolo Vermelho Amarelo apresenta toxidez de alumínio até a camada de 30-50 cm de profundidade e deficiência de cálcio em todas as camadas. Em termos de limitações ao desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, ambos os solos teriam limitações quanto à deficiência de cálcio, mas as restrições quanto à toxidez de alumínio seriam mais marcantes no Latossolo Vermelho Escuro.

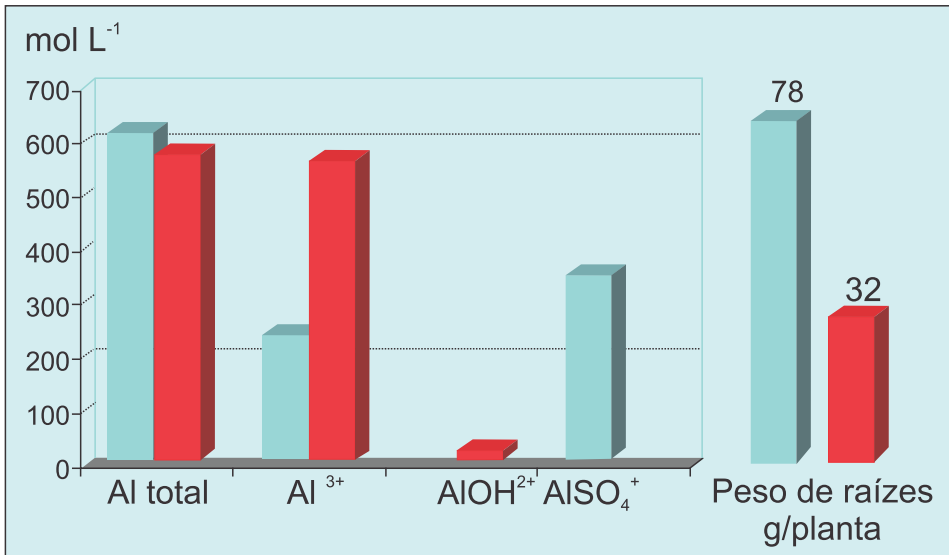
Evidências de que a deficiência de cálcio em profundidade, além da toxidez de alumínio, representam sérias restrições ao desenvolvimento do sistema radicular são abundantes no Brasil. Trabalho de pesquisa desenvolvido no CPAC, em Brasília (DF), mostra que aplicações de cálcio, seja na forma de cloreto, fosfato ou carbonato de cálcio, em amostra de subsolos com extrema deficiência de cálcio, proporcionaram significativos aumentos no comprimento de raízes de milho e soja, em comparação com a parcela testemunha, sem aplicação dessas fontes de cálcio, mesmo com o valor do pH em água de 5,7, sob condições naturais (Figura 3).



**Figura 3**  
Efeito de doses e fontes de cálcio no crescimento de raízes de trigo, milho e soja em comparação com a parcela testemunha sem aplicação de cálcio.  
Fonte: CPAC (1981)



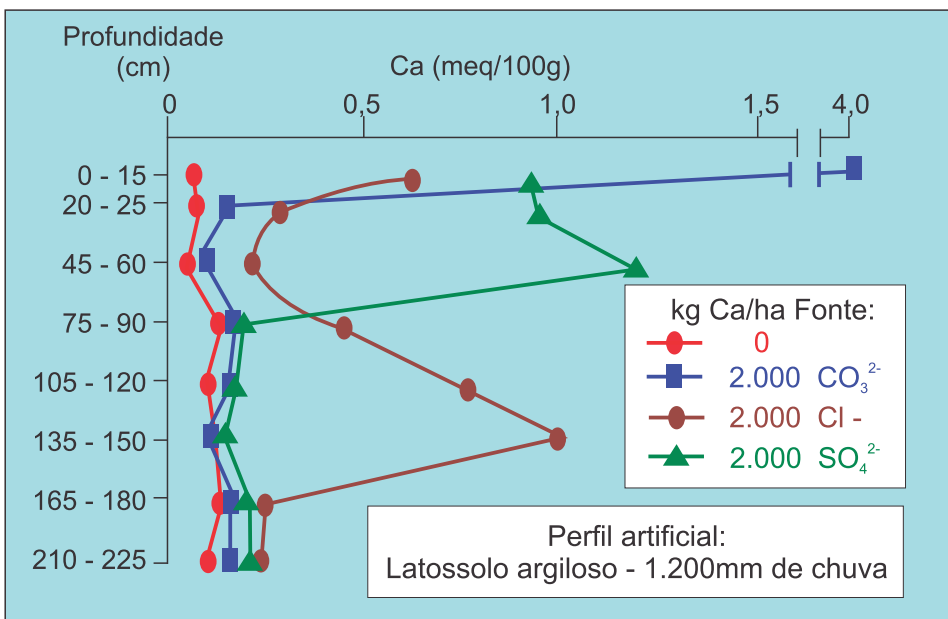
Os efeitos do sulfato de cálcio (um dos constituintes dos fertilizantes fosfatados de baixa concentração acidulados via rota sulfúrica) são também acentuados em cultura perenes como o cafeeiro. Nos resultados apresentados na Figura 4, pode-se observar que o tratamento com sulfato de cálcio, embora mantivesse os mesmos níveis de alumínio total que o tratamento com cloreto de cálcio, reduziu a menos da metade o teor de  $\text{Al}^{3+}$ , que é a forma tóxica, precipitando-o na forma de  $\text{AlSO}_4^+$ , forma não tóxica para as plantas. Com isso, o peso de raízes das plantas do cafeeiro mais do que dobrou em relação à aplicação de cálcio na forma de cloreto (Pavan, 1983).



**Figura 4**  
 Espécies químicas de alumínio e crescimento de raízes do cafeeiro cultivado em soluções de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{CaSO}_4$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , em equilíbrio.  
 Fonte: Pavan (1983)

Pesquisas adicionais evidenciaram que a movimentação do cálcio no perfil do solo – com todos os benefícios inerentes dessa movimentação no sentido de aprofundamento do sistema radicular das plantas cultivadas –, é altamente dependente dos íons acompanhantes. Diferentes sais de

cálcio têm comportamento diferencial quanto à velocidade de penetração no subsolo e quanto à profundidade em que esses efeitos benéficos se manifestam. Um exemplo disto é mostrado na Figura 5, em que a mesma dose de cálcio (equivalente a 2.000 kg de Ca por hectare) foi aplicada à superfície de colunas de solos de 2,25 m, na forma de carbonato, cloreto e sulfato, seguindo-se da simulação de uma chuva artificial de 1.200 mm. Findo o experimento, o conteúdo de solo das colunas foi removido e avaliou-se o teor de cálcio nas várias camadas. No tratamento que recebeu o cálcio na forma de carbonato, o teor de cálcio somente aumentou significativamente na camada superior do solo, enquanto que no tratamento com cloreto de cálcio houve uma descida muito rápida e acentuada do cálcio a grandes profundidades. No tratamento com cálcio na forma de sulfato houve um aumento significativo de cálcio, de forma mais ou menos uniforme até a camada de 45 a 60 cm de profundidade.



**Figura 5**

Efeito de diferentes ânions na distribuição de cálcio após lixiviação de 1.200 mm de água em perfis reconstruídos de um Latossolo Vermelho Escuro, em colunas.

Fonte: Adaptado de CPAC (1979)



O que poucos sabem é que o início dos estudos desses efeitos, envolvendo o superfosfato simples em comparação com outros fertilizantes fosfatados, surgiu mais ou menos por acaso. No início dos anos 70, um agricultor do Paraná, Sr. Souza Lima, adquiriu uma propriedade no Distrito Federal, ao lado do PADEF – Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal, que foi o segundo grande assentamento agrícola na região dos cerrados. Por tradição trazida do Sul, esse agricultor utilizava como fonte de fósforo o superfosfato simples e os agricultores do PADEF, na maioria japoneses, utilizavam como fontes desse nutriente, o termofosfato e o superfosfato triplo. Depois de uns 10-12 anos explorando a área, houve um veranico de mais de vinte dias de duração, fazendo com que o milho e a soja dos agricultores do PADEF apresentassem severos sintomas de estresse hídrico e as mesmas culturas na propriedade do Sr. Souza Lima mantivessem um desenvolvimento normal, sem demonstrar nenhum estresse hídrico. O fato chamou a atenção de pesquisadores do CPAC (Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados), os quais abriram trincheiras nas duas propriedades e observaram que o sistema radicular das culturas na área do PADEF alcançava 60 cm de profundidade, enquanto que na propriedade ao lado – do Sr. Souza Lima –, o sistema radicular das mesmas culturas chegava a até 120 cm de profundidade. O solo era praticamente o mesmo e o único fator de manejo diferente era a fonte de fósforo, como mencionado anteriormente. Começou-se então a especular que o maior aprofundamento do sistema radicular na propriedade do Sr. Souza Lima, seria, possivelmente, resultante do efeito do uso contínuo, durante 10-12 anos, do superfosfato simples que, como se sabe, apresenta, por tonelada, cerca de 500 quilos de sulfato de cálcio e que esse componente teria minimizado os efeitos do baixo teor de cálcio e da toxidez de alumínio no subsolo, permitindo um maior aprofundamento do sistema radicular.



O que se seguiu a essa observação foi uma verdadeira explosão de trabalhos de pesquisa procurando comparar o superfosfato simples, que apresenta grande quantidade de sulfato de cálcio na sua composição, com o superfosfato triplo que não contém esse produto, além de estudos envolvendo doses de gesso agrícola (sulfato de cálcio dihidratado), associadas ou não ao uso do calcário, como tecnologias de manejo para aprofundamento do sistema radicular.

Estes trabalhos envolveram estudos os mais diversos, incluindo: a) experimentos em laboratório procurando entender melhor as reações químicas do gesso no solo; b) experimentos de casa-de-vegetação procurando estabelecer níveis críticos de cálcio trocável e de toxidez de alumínio que seriam limitantes ao desenvolvimento radicular; c) experimentos com colunas de solos com estrutura deformada e natural com simulação de chuvas artificiais para acompanhar o movimento de cálcio para o subsolo; e, d) experimentos de campo envolvendo fontes de fósforo, combinações de doses de calcário e gesso agrícola para diferentes culturas e tipos de solo e, finalmente, estabelecimento de critérios de diagnose para identificar solos com alta probabilidade de resposta ao uso do gesso agrícola e métodos de recomendação desse insumo.

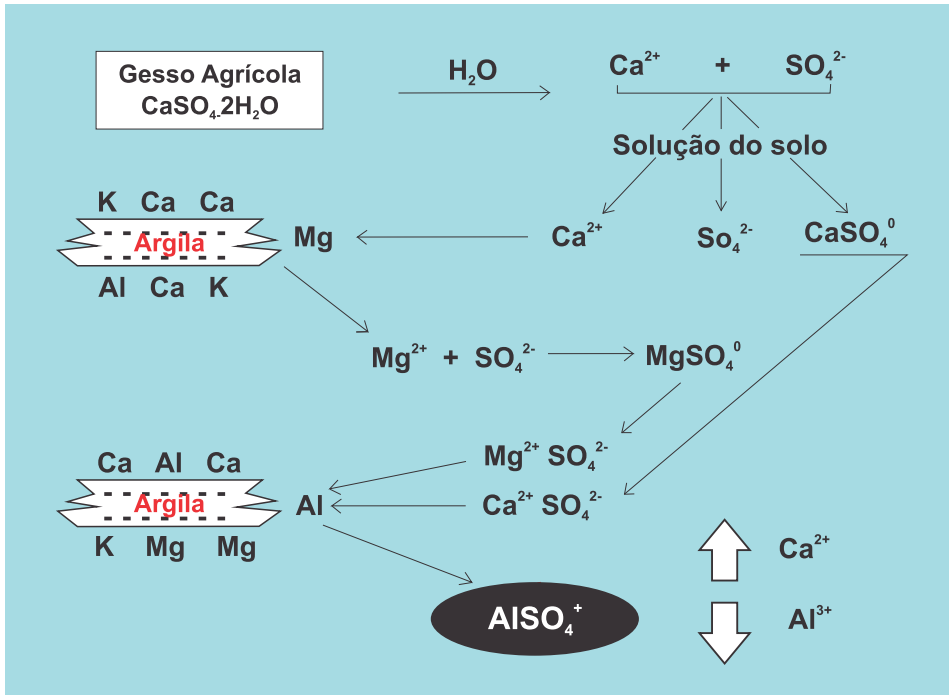
Não seria exagero afirmar que o Brasil é o país do mundo com o maior número de pesquisas envolvendo comparações entre fontes de fósforo na região tropical e do uso do superfosfato simples e do gesso agrícola como melhoradores das condições do subsolo para o desenvolvimento radicular. Isso pode ser comprovado pelos dois seminários envolvendo o assunto que foram realizados no Brasil (Ibrafos, 1986, 1992), o boletim técnico de Malavolta et al., (1979), os livros de Rajj (1988 e 2008) e Vitti et al., (2008) e o artigo de Ritchey & Sousa (1997). Além disso cabe destaque na literatura internacional os artigos de Shainberg et al., (1989), Alcordo &

Rechcigl (1993) e Sumner (1993). Alguns desses trabalhos serão discutidos a seguir.

Já na década de 70, a importância do alumínio nos horizontes subsuperficiais afetando negativamente a produção agrícola, por limitar a absorção de água e nutrientes, era ressaltada (Olmos e Camargo, 1976). Os autores ainda ressaltaram que o problema seria tanto mais grave quanto mais crítica fosse a deficiência de água para as culturas. Foi também dessa época uma série de pesquisas mostrando que a deficiência de cálcio no subsolo limitava o crescimento das raízes das plantas em profundidade e também contribuía para a manifestação de estresse hídrico durante os períodos de veranicos.

De forma simplificada, o mecanismo de ação do sulfato de cálcio no perfil do solo é demonstrado na Figura 6, a seguir. O sulfato de cálcio se dissolve parcialmente na solução do solo e, após estabelecido o equilíbrio no processo de troca iônica do cátion  $\text{Ca}^{2+}$  e de outros cátions trocáveis na camada superficial do solo, o excesso de cálcio que não ficou retido se movimenta, acompanhado do sulfato, no perfil do solo. Há também a possibilidade de que parte do  $\text{Mg}^{2+}$  previamente presente no complexo de troca se combine com o sulfato, e seja levado para maiores profundidades no perfil do solo. Ao atingir profundidades com saturação mais baixa de cálcio (e, ou, magnésio) e presença de alumínio trocável, o sulfato de cálcio (e, ou, magnésio) se dissocia(m) novamente e o cálcio (e, ou, magnésio) ocupa(m) o lugar do alumínio no complexo de troca, ficando disponível(eis) para ser(em) absorvido(s) pelas plantas. Na sequência, esse alumínio que foi deslocado pelo cálcio (e, ou, magnésio) forma complexos de menor toxidez com o sulfato, conforme já relatado anteriormente (Pavan, 1983).

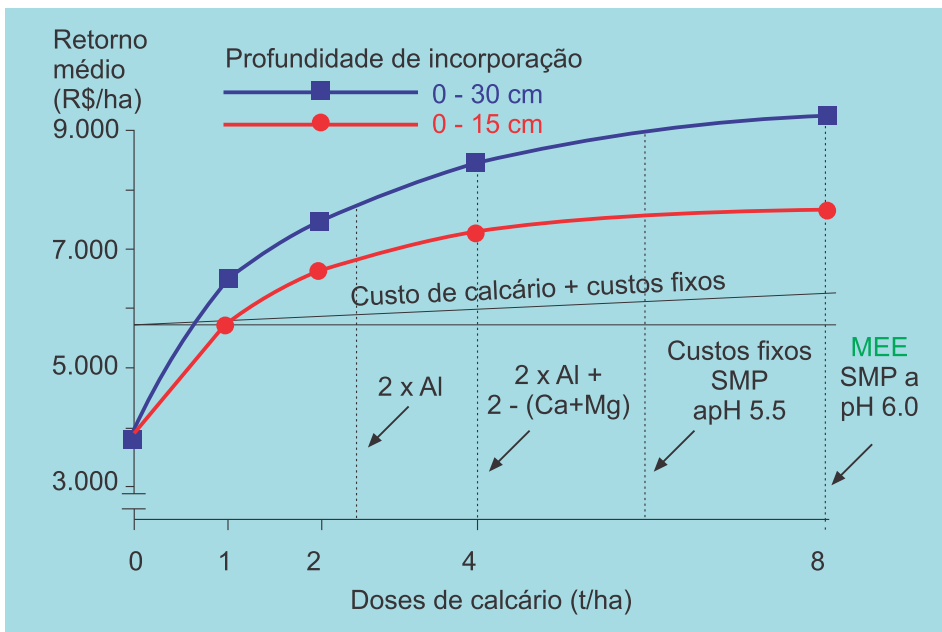




**Figura 6**  
 Mecanismo de ação do sulfato de cálcio no solo superficial e no subsolo.  
 Fonte: Adaptado de Caires (2013)

Outra observação interessante foi obtida no trabalho de Gonzáles-Erico et al., (1979), realizado em solo originalmente sob vegetação de cerrado do Distrito Federal. Os autores obtiveram considerável aumento de produção de milho pela incorporação de calcário na profundidade de 0-30 cm, em comparação com a incorporação mais próxima do usual, de 0-15 cm de profundidade. Os pesquisadores observaram, também, em um período de veranico, maior extração de água do solo no tratamento de calcário até 30 cm de profundidade, em relação à incorporação até 15 cm, e que, no último caso, as plantas mostraram-se murchas (Figura 7). Incorporação mais profunda do calcário, que poderia minimizar esse tipo de problema, era,

entretanto, extremamente onerosa, daí a importância em proporcionar a correção das camadas de solo abaixo da profundidade de incorporação dos corretivos com o uso de fertilizantes que contenham sulfato de cálcio.



**Figura 7**

Retorno médio (Cr\$/ha) de cinco colheitas de milho, uma de sorgo e uma de soja em função de métodos de recomendação, doses e profundidade de incorporação de calcário em um Latossolo Argiloso da região dos cerrados do Distrito Federal.

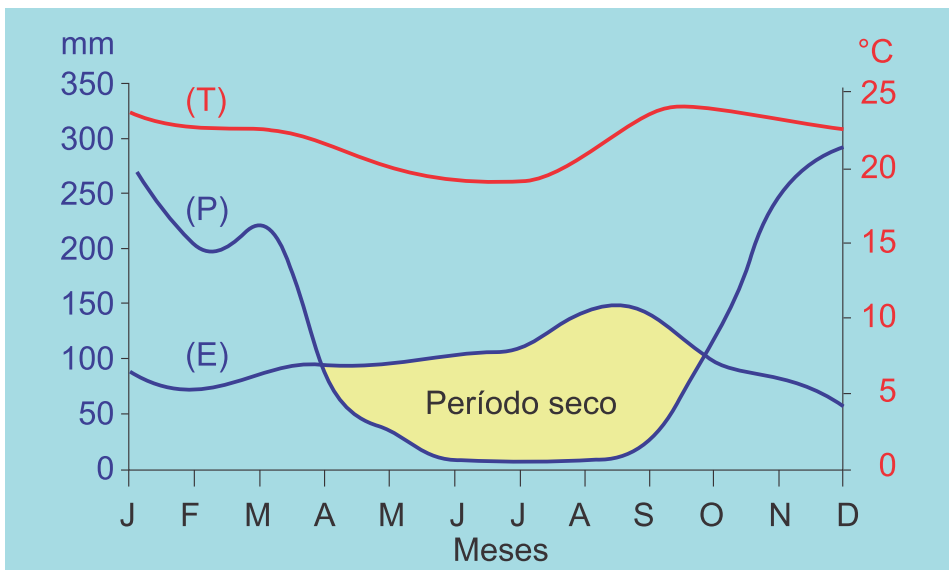
Fonte: Gonzales-Érico et al. (1979)

A região dos cerrados no Brasil, além de possuir a grande maioria dos seus solos com acidez, toxidez de alumínio e deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais (fatores restritivos ao desenvolvimento em profundidade do sistema radicular), apresenta ainda outras características que contribuem para um alto grau de risco para a prática da agricultura convencional sem irrigação nessa região, com destaque para o seguinte: 1) Distribuição não uniforme das chuvas; 2) Alta probabilidade de



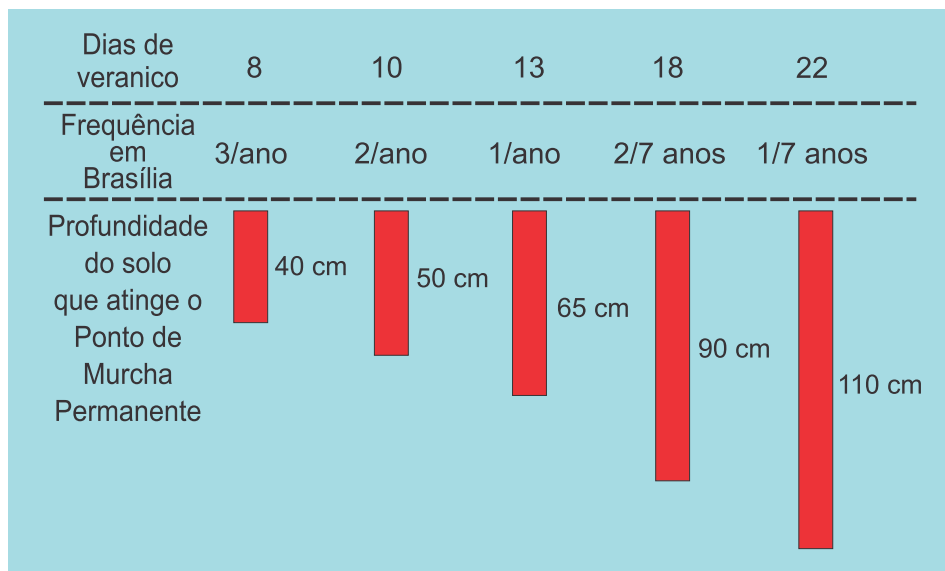
ocorrência de veranicos de duração e intensidades variáveis, durante a estação das chuvas; 3) Baixa capacidade de retenção de umidade mesmo nos solos de textura argilosa. Dada a importância desses fatores no processo de produção agrícola nesta região, dados adicionais pertinentes aos mesmos são apresentados a seguir:

**1) Distribuição não uniforme das chuvas:** Embora haja uma certa variabilidade das chuvas na região dos cerrados, com valores situando-se entre 900 e 2.000 mm anuais (média entre 1.000 e 1.400 mm), o que é bastante característico é a concentração dessas chuvas de outubro a abril, fazendo com que haja uma estação seca bem definida de maio a setembro. Nessa estação seca, a evapotranspiração potencial excede a precipitação, o que é altamente limitante à produção agrícola nesse período sem o uso de irrigação, embora não haja limitação imposta pelas temperaturas médias no período, as quais se mantêm mais ou menos uniformes em torno dos 25° C (Figura 8).



**Figura 8**  
Evolução da temperatura (T), precipitação (P) e evapotranspiração potencial (E), na região de Brasília (DF).  
Fonte: CPAC (1979)

**2) Alta probabilidade de ocorrência de veranicos de duração e intensidades variáveis, durante a estação das chuvas:** Este talvez seja o maior fator limitante para a produção de grãos e também de culturas perenes nessa região. Um exemplo típico para a região de Brasília, estimado com base em 42 anos de dados climáticos, mostrados na Figura 9 (Wolf, 1975), revela que veranicos de 8 dias podem ocorrer 3 vezes por ano enquanto que veranicos de 10 dias podem ocorrer 2 vezes por ano e veranicos de 13 dias têm probabilidade de ocorrer 1 vez por ano. Veranicos mais intensos, de 18 e 22 dias, podem ocorrer, respectivamente, 2 anos em cada 7 anos e 1 ano em cada 7 anos. Com a ocorrência desses veranicos, o solo atinge o Ponto de Murchamento Permanente (em outras palavras, seca), até as profundidades de 40, 50, 65, 90 e 110 cm, respectivamente. O autor estima ainda que apenas em 1 ano em cada 11 anos, a chuva seria bem distribuída nessa região.



**Figura 9**  
Probabilidade de ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas na região de Brasília e seus efeitos na umidade do solo.

**Fonte:** Adaptado de Wolf (1975)



A ameaça de mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global deve tornar este cenário ainda mais preocupante. Apesar das incertezas existentes sobre estas mudanças, dentre seu efeitos deve estar o aumento da irregularidade das chuvas, com precipitações intensas ou aumento dos períodos sem chuvas e desta forma, tornam-se mais importante as tecnologias que consigam atenuar os efeitos destas mudanças como a correção do perfil dos solos para aumentar a capacidade de armazenamento de água nos solos agrícolas.

### **3) Baixa capacidade de retenção de umidade mesmo nos solos de textura argilosa:**

Um último complicador nessa situação de risco é a baixa capacidade de retenção de umidade da maioria desses solos, mesmo naqueles de textura mais argilosa. Dados mostrados na Tabela 9 indicam a capacidade de retenção de umidade destes solos agrupados por classes texturais (Lopes, 1977). Essa baixa capacidade de retenção de umidade, que obriga as plantas cultivadas a explorarem um maior volume de solos para atendimento de suas necessidades fisiológicas é devida, principalmente, aos tipos de argila que constituem esses solos, sendo praticamente todos formados por argilas de baixa atividade.

**Tabela 9**

Água disponível em relação a teores de argila em solos sob vegetação de cerrado do Brasil Central

Argila	Água disponível	
	%	mm/10 cm
< 15	6,9	6,9
15-35	11,0	11,0
36-60	11,8	11,8
>60	10,9	10,9

Fonte: Lopes (1977)



Um desdobramento do trabalho de Lopes (1977) foi feito por Reichardt (1985). O referido autor calculou o armazenamento residual (em mm), por camada de solo, após 2, 6, 10, 14 e 24 dias sem chuva em solos com mais de 18% de argila (Tabela 10) e 2, 6, 10, 14 e 16 dias sem chuva em solos com menos de 18% de argila (Tabela 11). O solo com menos de 18% de argila teria zero de armazenamento residual na camada de 50-60 cm após 10 dias sem chuva e zero na camada de 120-140 cm após 16 dias sem chuva. Já no solo com mais de 18% de argila, após 10 dias sem chuva haveria ainda disponível 12,6 mm de umidade residual na camada de 50-60 cm de profundidade e após 24 dias sem chuva, haveria ainda 11,4 mm de água residual disponível na camada de 120 a 140 cm de profundidade. Esses dados evidenciam que os solos arenosos têm muito mais problema de efeitos detrimenais na produção decorrentes das probabilidades de ocorrência de veranicos do que os solos de textura média e argilosos. Evidenciam, ainda, a importância de se adotarem práticas de manejo que levem ao aprofundamento do sistema radicular das culturas para aumentar as probabilidades de sucesso para agricultura de sequeiro em grande número de solos do Brasil.

### Tabela 10

Armazenamento de água em solos com mais de 18% de argila da região dos cerrados após n dias sem chuva na estação das chuvas.

Profundidade cm	Armazenamento máximo	Armazenamento residual (em mm) após n dias sem chuva e evapotranspiração de 6 mm/dia				
		n = 2	n = 6	n = 10	n = 14	n = 24
		mm				
0-10	11,1	0	0	0	0	0
20-30	33,3	21,3	0	0	0	0
50-60	66,6	60,6	36,6	<b>12,6</b>	0	0
80-100	111,0	99,0	75,0	51,0	27,0	0
120-140	155,4	143,4	119,4	95,4	71,4	<b>11,4</b>

Fonte: Reichardt (1985)

**Tabela 11**

Armazenamento de água em solos com menos de 18% de argila da região dos cerrados após n dias sem chuva na estação das chuvas.

Profundidade cm	Armazenamento máximo	Armazenamento residual (em mm) após n dias sem chuva e evapotranspiração de 6 mm/dia				
		n = 2	n = 6	n = 10	n = 14	n = 16
		mm				
0-10	6,9	0	0	0	0	0
20-30	20,7	8,7	0	0	0	0
50-60	41,4	29,4	5,4	0	0	0
80-100	69,0	57,0	33,0	9,0	0	0
120-140	96,6	84,6	60,6	36,6	12,6	0

Fonte: Reichardt (1985)

O ponto importante desses dados é que, as raízes não se aprofundando no subsolo devido à falta de cálcio ou toxidez de alumínio, deixam de absorver água e nutrientes da parte do solo que não alcançam. No caso de nutrientes, o principal é o nitrogênio, na forma de nitrato, forma muito móvel, facilmente removida do perfil pela água que percola através do solo. Nestes casos, os fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica, como o superfosfato simples, podem fazer a diferença pois, da mesma forma como demonstrado para o gesso, proporcionam a correção do ambiente radicular em profundidade como será adiante exemplificado.

#### **d) Fornecimento de sulfato de cálcio sem necessidade adicional de aplicação do gesso agrícola**

Os efeitos benéficos com vistas ao aprofundamento do sistema radicular das plantas cultivadas, obtidos pelo uso do gesso agrícola podem também ser alcançados pela aplicação de fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica uma vez que a parte desses fertilizantes que atua nesse processo é exatamente o sulfato de cálcio contido nos mesmos.



O primeiro trabalho de pesquisa, em experimento de campo, que não só demonstrou a existência de barreira química para a penetração de raízes de milho no subsolo em latossolos sob cerrado, como também indicou uma maneira de eliminá-lo foi o de Ritchey et al., (1980). O experimento foi conduzido comparando-se o superfosfato triplo (que não contém sulfato de cálcio) com o superfosfato simples (que contém). Os resultados foram obtidos após aproximadamente duas semanas de severo veranico, cerca de três anos após a aplicação dos adubos (Tabela 12).

**Tabela 12**

Efeito de superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples (SSP) na saturação de alumínio, ocorrência de raízes e teor de água no solo, em experimento com fosfatos em um Latossolo de Planaltina (DF).

Profundidade cm	Saturação por alumínio		Presença de raízes		Teor de água	
	TSP	SSP	TSP	SSP	TSP	SSP
	%		Sim ou Não		%	
0-15	1	14	Sim	Sim	13,6	16,6
15-30	12	30	Sim	Sim	18,1	19,9
30-45	47	21	Sim	Sim	20,2	21,7
45-60	61	12	Não	Sim	22,7	20,6
60-75	62	17	Não	Sim	23,6	20,8
75-90	73	18	Não	Sim	24,3	23,3
90-105	80	22	Não	Sim	25,0	23,2
105-120	74	8	Não	Sim	25,3	24,1

Fonte: Ritchey et al. (1980)

Verifica-se que o tratamento com superfosfato simples (SSP), que contém o sulfato de cálcio, provocou expressiva redução da saturação por alumínio e que isso estava associado ao maior aprofundamento do sistema radicular e a uma maior absorção de água do subsolo. Nota-se que o efeito foi observado até 120 cm e que, na camada de 105-120 cm, houve expressiva redução da saturação por alumínio que era de 74% no tratamento com superfosfato triplo (TSP), para apenas 8%, no tratamento com superfosfato simples (SSP).

Além dos efeitos benéficos do uso do superfosfato simples mostrados na Tabela 12, foram observados também nesse experimento, aumentos

sensíveis no pH – notadamente nas camadas de 45-60 cm e mais profundas –, nos teores de cálcio + magnésio e diminuição dos teores de alumínio em profundidade no perfil do solo, em comparação com as parcelas que receberam o supertriplo (Tabela 13).

**Tabela 13**

Efeito de superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples (SSP) em atributos da acidez em experimento de milho em um Latossolo do Distrito Federal.

Profundidade cm	pH		Ca + Mg		Al	
	TSP	SSP	TSP	SSP	TSP	SSP
			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
0-15	5,4	5,1	34	19	0,3	3,1
15-30	5,0	4,7	21	13	2,9	5,6
30-45	4,6	4,7	8	14	7,1	3,7
45-60	4,1	4,8	5	15	7,8	2,0
60-75	4,0	4,5	4	11	6,5	2,3
75-90	4,2	4,6	2	8	5,4	1,8
90-105	4,2	4,3	1	5	4,0	1,4
105-120	4,2	4,4	1	5	2,8	0,4

Fonte: Ritchey et al. (1980)

Resultados semelhantes foram obtidos em experimento com a cultura do algodão, em Guaira, SP relatados por Silva e Raij (1992) (Tabela 14). O aumento do pH atesta a efetiva redução da acidez do subsolo com o superfosfato simples. Da mesma forma, os teores de cálcio são maiores ao longo do perfil. Este trabalho permite também comprovar uma melhor distribuição de magnésio e potássio no perfil, para o tratamento com o superfosfato simples, em relação ao supertriplo (Raij, 2008).



**Tabela 14**

Resultado de análise de solo de amostras retiradas a diferentes profundidades, após dezessete anos, de experimento de algodão realizado em Guaira (SP), comparando superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples (SSP)

Profundidade de amostragem cm	pH em CaCl <sub>2</sub>		Ca		Mg		K	
	TSP	SSP	TSP	SSP	TSP	SSP	TSP	SSP
	<b>mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b>							
0-20	5,2	5,4	17	24	9	7	2,7	0,9
20-40	4,6	4,7	7	10	4	4	1,2	0,7
40-60	4,3	4,9	3	12	2	4	0,4	0,5
60-80	4,2	5,0	4	9	0	4	0,2	0,5
80-100	4,3	5,2	2	8	1	4	0,1	0,4
100-120	4,5	4,9	4	6	0	3	0,3	0,7

Fonte: Silva e Raji (1992)

Na prática, também podem ser constatados estes efeitos como relatado por Paiva e Cunha (2014) em área agrícola no cerrado da Bahia submetida a aplicação pesada de fertilizante fosfatado acidulado sulfúrico contendo 16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA+água, 16% de Ca e 11% de S visando a correção mais rápida da fertilidade do solo para atingir em menor tempo o seu máximo potencial produtivo. Nota-se pela Tabela 15 que foram alcançados níveis elevados de fósforo bem como a melhoria de Ca e S no perfil do solo e a eliminação do alumínio trocável até a profundidade que foi investigada, 60 cm, graças ao sulfato de cálcio contido no fertilizante fosfatado.

**Tabela 15 -** Resultados das análises de solo (valores médios) das amostras coletadas na área de lavoura e de cerrado adjacente.

Parâmetro	Cerrado		Lavoura		
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	30-60 cm
pH	4,9	4,8	6,3	5,9	5,8
CO dag kg <sup>-1</sup>	1,1	0,9	1,0	0,8	0,6
P mg dm <sup>-3</sup>	1,2	0,9	27,0	18,6	13,8
S mg dm <sup>-3</sup>	2,2	2,9	7,0	9,8	17,1
Prem mg dm <sup>-3</sup>	40,3	40,8	48,4	49,7	49,2
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,5	0,3	1,8	1,3	1,2
Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0
H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,8	5,7	2,0	2,3	2,6
SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,6	0,4	2,1	1,5	1,2
CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,4	6,1	4,1	3,8	3,8
V %	9,2	6,2	51,2	38,6	31,5
m% %	61	72	0	0	0

Fonte: Paiva et al. (2014)

Uma vantagem da correção obtida pelo uso de fertilizantes fosfatados solubilizados via sulfúrica é que a aplicação do gesso agrícola para essa finalidade, de forma isolada, requer um trabalho e custos extras de aplicação, o que certamente irá onerar os custos do produtor.

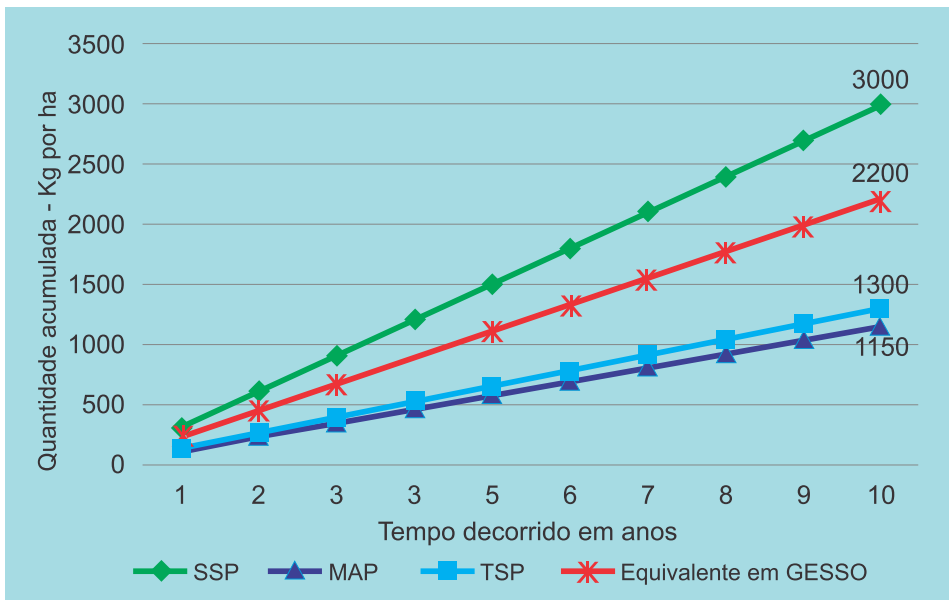
Outro complicador para essa aplicação isolada é que o gesso agrícola, decorrente da fabricação do ácido fosfórico, que é armazenado em grandes lagoas de deposição e armazenados em grandes depósitos ao ar livre, apresenta em torno de 15 a 17% de umidade mesmo depois de seco, o que torna seu manuseio e distribuição uniforme difícil.

Neste contexto, cabe ainda uma melhor explicação do conceito de conteúdo de gesso equivalente, o qual é apresentado a seguir. Embora um superfosfato simples contenha cerca de 50% de  $\text{CaSO}_4$  (500 kg de sulfato de cálcio anidro por tonelada de supersimples) na sua composição típica, ao ser comparado com o gesso agrícola, que está na forma de sulfato de cálcio dihidratado e tem 15-17% de umidade, a quantidade de gesso equivalente é de 730-740 kg por tonelada ( $\text{CaSO}_4 = 136 \text{ g}$ ;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 172 \text{ g} + 15\% \text{ umidade} = 202 \text{ g}$ ; portanto  $202/136 = 1,48$  vezes).

Considerando este raciocínio, quando se utilizam anualmente 300 kg/ha de um superfosfato simples com 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para fornecer 60 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha, dose bastante próxima à nossa realidade média, isto proporcionará a aplicação equivalente de 220 kg/ha de gesso agrícola (ou cerca de 150 kg/ha de sulfato de cálcio anidro). Ao fim de 5 anos, tempo médio para a “doma” dos solos pobres do cerrado, haveria a adição de 1.100 kg de gesso sem custos adicionais de aplicação, sem desbalanços nutricionais – passíveis de acontecer com dosagens únicas de gesso – e, ainda, fornecendo S e Ca para a nutrição das plantas com uma distribuição mais uniforme.

Para exemplificar uma situação considerando um prazo maior, 10 anos por exemplo usando a dose de 60 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha, a quantidade total de superfosfato simples (SSP) utilizada na adubação será de 3.000 kg, sendo

300 kg por hectare por ano. Para suprir neste período a mesma quantidade enxofre usando gesso e o fósforo usando MAP ou superfosfato triplo (TSP) a quantidade total dos produtos será maior pois seriam necessários 2.200 kg de gesso e mais 1.150 kg de MAP ou 1.300 kg de superfosfato triplo. Em qualquer uma das escolhas de fonte fosfatada a quantidade total de insumos necessárias para atender a adubação será maior que os 3.000 kg de superfosfato simples pois ao escolher MAP o total necessário será de 3.350 kg e se a escolha for superfosfato triplo o total será de 3.500 kg como mostra a Figura 10 a quantidade acumulada de cada insumo no período de 10 anos.



**Figura 10**

Quantidade acumulada em 10 anos de MAP ou Superfosfato Triplo (TSP) e Gesso equivalente ao uso anual de 300 kg de Superfosfato Simples (SSP).

Fonte: Cunha et al. (2014)



Se ainda for considerado que as aplicações de gesso anuais visando o fornecimento de enxofre necessitam de doses mínimas de 300 kg por hectare devido à dificuldade de obter uma boa distribuição com dosagens menores, a quantidade de gesso utilizada em 10 anos subiria pelo menos a 3.000 kg e assim a soma de gesso + TSP no período será de 4.300 kg e gesso + MAP será de 4.150 kg, bem acima da quantidade de superfosfato simples utilizada no período de 3.000 kg. Pode ser concluído que é um erro considerar o superfosfato simples como um fertilizante de baixa concentração que eleva os custos logísticos e de aplicação ao não se considerar o seu papel como fornecedor de enxofre e o gesso contido no mesmo.

#### **e) O enxofre é um nutriente importante**

Como destacado por Malavolta (2006), o enxofre deixou de ser o elemento esquecido no Brasil a partir de 1950, quando defendeu a sua tese de livre Docência na Esalq-USP. Como descreve o autor, seguiram-se diversos trabalhos de pesquisa com o nutriente como aqueles realizados pelo IBEC Research Institute com ênfase no cerrado para avaliar as respostas obtidas com o uso de enxofre nas adubações.

Malavolta (2006) também sintetiza o resultado de diversos experimentos realizados entre 1980 e 1990 para avaliar as respostas de diversas culturas ao uso de enxofre como mostra a Tabela 16.



**Tabela 16**

Respostas percentuais à adição de enxofre em experimentos conduzidos entre 1980-1990

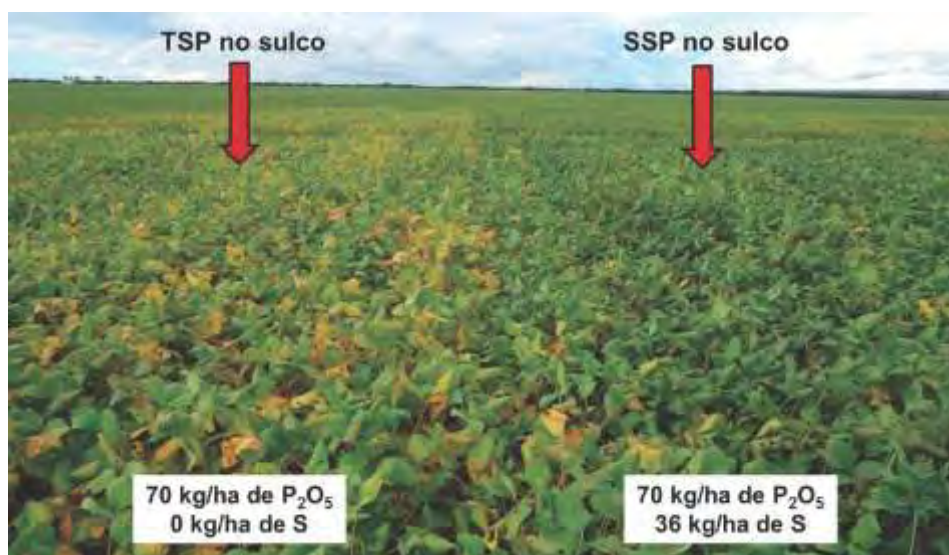
Cultura	Nº de anos	Nº de ensaios	Dose kg ha <sup>-1</sup>	Aumento na produção %
Milho	4	1	30	14 - 27
Arroz	2	1	30	28
Trigo	4	1	20	26 - 33
Algodão	2	4	30	15 - 42
Colonião	2	2	40	10
Citrus	4	2	30	10 - 39
Soja	2 a 4	3	30	12 - 23
Colza	2	2	60	67
Café	4	2	20 - 30	44 - 61
Cana-de-açúcar	5	5	30 - 60	8 - 20
Sorgo sacarino	2	2	30	16
Repolho	1	1	60	9

Fonte: adaptado de Malavolta (2006)

Apesar das expectativas de aumento de produtividade que pode ser atribuído ao uso de enxofre em quantidades adequadas, com frequência se nota pouca preocupação dos produtores agrícolas quanto ao uso desse nutriente e, muitas vezes, ele espera que o fertilizante utilizado o contenha em quantidade suficiente. Isto nem sempre é verdadeiro, seja porque o fertilizante e a dose utilizada pode não fornecê-lo na quantidade necessária ou porque o próprio fertilizante não contém a quantidade de enxofre esperada e deve haver uma maior preocupação em verificar se as necessidades estabelecidas para a sua cultura serão atendidas plenamente.

Esta preocupação com o uso de dosagens adequadas de enxofre para alcançar as melhores produtividades tem sido uma constante nos trabalhos de avaliação de diferentes opções de adubação realizados pela Fundação Mato Grosso (Fundação MT). Isto vem sendo feito tanto pela realização de experimentos de campo, como pelo acompanhamento de lavouras comerciais no estado de Mato Grosso, onde, em geral, se observam boas respostas ao enxofre. A Figura 11 é um exemplo de

comparação de adubação entre superfosfato simples (SSP) e superfosfato triplo (TSP) na cultura de soja, em um solo arenoso cultivado há vários anos<sup>4</sup>. Nessas áreas, foram utilizadas, em anos anteriores, formulações concentradas em fósforo e também em potássio, o que não permitia a presença de enxofre nestes produtos.



**Figura 11**

Comparação visual do efeito da aplicação de fontes de fósforo (TSP e SSP) no sulco de plantio na cultura da soja, em solos arenosos previamente adubados com fertilizantes concentrados em fósforo e potássio (sem enxofre).

Fonte: Zancanaro (2015)<sup>4</sup>

Em experimentos realizados pela Fundação MT, com soja cultivada em primeiro ano, em solo argiloso, foram bem caracterizadas as respostas obtidas com enxofre pelo aumento da quantidade de superfosfato simples na adubação fosfatada, sendo observados retornos crescentes até aproximadamente a dose de 30 kg de S por hectare, como mostra a Tabela 17.

<sup>4</sup>Zancanaro, L. (Fundação MT). Comunicação pessoal (2015).

### Tabela 17

Produtividade da soja em função de doses crescentes de enxofre fornecido por superfosfato simples em primeiro ano de cultivo em solo argiloso - Sapezal, MT.

Dose de S kg ha <sup>-1</sup>	Produtividade de Soja kg ha <sup>-1</sup>
0	2802
15	3480
30	3630
45	3768
60	3690
75	3678

Fonte: Zancanaro et al. (2003)

O diagnóstico da necessidade de uso de enxofre pode ser indicado pela análise de solo, de folhas ou mesmo de sementes, sendo a seguir indicadas as principais referências para o diagnóstico definidos pelas principais instituições de pesquisa no momento. Deve ser dada atenção a mudanças que possam ocorrer em virtude da atualização destas recomendações.

Para a interpretação dos resultados da análise de solo, de forma genérica podem ser utilizados os critérios definidos por Vitti et al. (2008) para os métodos de extração mais utilizados conforme a Tabela 18.

### Tabela 18

Interpretação do teor de enxofre nos solos conforme os métodos de extração

Classe	Teor de Enxofre - mg dm <sup>-3</sup>	
	NH <sub>4</sub> OAcHOAc	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> - 500 mg P/L
Muito baixa	≤ 5,0	≤ 2,5
Baixa	> 5,0 a 10,0	>2,5 a 5,0
Média	> 10,0 a 15,0	> 5,0 a 10,0
Adequada	> 15,0	> 10,0

Fonte: Vitti et al. (2008)



A Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC indica a interpretação para os teores de enxofre no solo para os solos e culturas da região conforme a Tabela 19.

**Tabela 19**

Interpretação do teor de enxofre nos solos sob condições do Rio Grande do Sul e Santa Catarina – extraído com solução de fosfato de cálcio 500 mg P L<sup>-1</sup>.

Classificação	Teor de Enxofre - mg dm <sup>-3</sup>
Baixo	≤ 2,0
Médio	> 2,0 a 5,0
Alto	> 5,0**

\*\*10 mg dm<sup>-3</sup> para leguminosas e culturas mais exigentes (brássicas, liliáceas, etc.). Considerar que a camada de 10 a 20 cm de profundidade geralmente apresenta teor maior de enxofre que a camada de 0-10 cm.

Fonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004)

No estado de São Paulo, a interpretação do teor de enxofre nos solos é indicado pelo Instituto Agrônomo de Campinas conforme a Tabela 20.

**Tabela 20**

Interpretação do teor de enxofre nos solos no Estado de São Paulo

Teor – extração com CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	Teor de Enxofre - mg dm <sup>-3</sup>
Baixo	≤ 4,0
Médio	> 4,0 a 10,0
Alto	> 10,0

Fonte: Rajj et al. (1996)

Para o estado de Minas Gerais, a interpretação do teor de enxofre nos solos pode ser auxiliada pelo resultado de P remanescente (P-rem) da análise de solo que de certa forma demonstra a força de adsorção de P e S nos solos (Tabela 21).

**Tabela 21**

Classes de interpretação da disponibilidade para o enxofre<sup>1/</sup> de acordo com o valor de fósforo remanescente (P-rem).

P-rem	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio <sup>2/</sup>	Bom	Muito bom
mg L <sup>-1</sup>	(mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3/</sup>				
	Enxofre disponível (S)				
0 - 4	≤ 1,7	1,8 – 2,5	2,6 – 3,6	3,7 – 5,4	> 5,4
5 - 10	≤ 2,4	2,5 – 3,6	3,7 – 5,0	5,1 – 7,5	> 7,5
11 - 19	≤ 3,3	3,4 – 5,0	5,1 – 6,9	7,0 – 10,3	> 10,3
20 - 29	≤ 4,6	4,7 – 6,9	7,0 – 9,4	9,5 – 14,2	> 14,2
30 - 44	≤ 6,4	6,5 – 9,4	9,5 – 13,0	13,1 – 19,6	> 19,6
45 - 60	≤ 8,9	9,0 – 13,0	13,1 – 18,0	18,1 – 27,0	> 27,0

<sup>1/</sup> Método Hoef et al. (1973) (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mg L<sup>-1</sup> de P, em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>). <sup>2/</sup> Esta classe indica os níveis críticos de acordo com o valor de P-rem. <sup>3/</sup> mg dm<sup>-3</sup> = ppm (m/v)

Fonte: Ribeiro et al. (1999)

Para os solos de cerrado onde geralmente se avalia a situação de fertilidade no perfil do solo e pelo comportamento do enxofre de se deslocar para a profundidade em que o pH do solo é ácido, a indicação para a avaliação da disponibilidade do nutriente é efetuada pela média dos resultados obtidos na camada superficial (0 a 20 cm) e em subsuperfície (20 a 40 cm) resultando na interpretação apresentada na Tabela 22.

**Tabela 22**

Interpretação do teor de enxofre nos solos de cerrado

Interpretação extração com Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	*Teor de Enxofre - mg dm <sup>-3</sup>
Baixo	≤ 4,0
Médio	> 4,0 a 9,0
Alto	> 9,0

\*S = (teor na camada de 0 a 20 cm + teor na camada de 20 a 40 cm)/2

Fonte: Sousa & Lobato (2004)

A análise de tecidos é outra forma disponível para avaliar o estado nutricional das culturas e assim determinar a necessidade de uso dos nutrientes na adubação. Na Tabela 23 podem ser encontrados os teores considerados adequados para algumas das culturas mais importantes. Deve ser lembrado que os valores indicados para a interpretação são

válidos para amostras coletadas seguindo os critérios de amostragem estabelecidos para cada cultura.

**Tabela 23**

Faixas de suficiência de enxofre no tecido foliar para algumas culturas.

<b>Culturas</b>	<b>Teor de S - %</b>	<b>Culturas</b>	<b>Teor de S - %</b>
<b>Grãos</b>		<b>Leguminosas forrageiras</b>	
Amendoim	0,20-0,35	Siratiro	0,10
Arroz de sequeiro	0,14-0,30	Estilosantes	0,15-0,30
Arroz irrigado	0,20-0,30	Alfafa	0,20-0,40
Aveia	0,15-0,40	Guandu	0,15-0,30
Centeio	0,15-0,50	Leucena	0,15-0,30
Cevada	0,15-0,40	Soja perene	0,15-0,30
Feijão	0,20-0,30		
Girassol	0,15-0,20	<b>Essências florestais</b>	
Milho	0,10-0,30	Araucária	0,10-0,20
Soja	0,21-0,40	Eucalipto	0,15-0,20
Sorgo	0,15-0,30	Pinus	0,13-0,16
Trigo	0,15-0,30		
Triticale	0,15-0,30	<b>Outras culturas comerciais</b>	
		Cana-de-açúcar	0,20-0,30
		Fumo	0,20-0,60
<b>Gramíneas forrageiras</b>			
Milheto	0,15-0,20		
Braquiária	0,10-0,25		
Capim colômbio	0,10-0,30		
Capim elefante	0,10-0,30		
Pangola	0,15-0,20		
Tifton	0,15-0,30		

**Fonte:**  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004)

A análise de sementes demonstra ser um método promissor para avaliar o estado nutricional da cultura da soja e apesar de ser ainda pouco usado, demonstra ser bastante prático pois a amostra já está disponível para a avaliação no momento da colheita. Hitsuda et al., (2004) estabeleceram como referência para o enxofre a concentração de  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$  nos grãos para definir a situação nutricional como adequada.

Os mais diferentes estados e, ou, regiões no Brasil têm incluído, nas suas recomendações oficiais, doses de enxofre para as condições das mais diferentes culturas. Essas recomendações são, na maioria das vezes, para solos que não receberam uma gessagem prévia e para condições de solos que apresentem deficiência de enxofre. Um resumo de algumas dessas recomendações por cultura é apresentado na Tabela 24. Em geral, as recomendações para estas condições se situam entre 20 e 30 kg de enxofre por hectare por ano.

**Tabela 24**

Recomendações de doses de enxofre para várias culturas em algumas regiões do Brasil.

Cultura	Região dos Cerrados <sup>1</sup>	Minas Gerais <sup>2</sup>	São Paulo <sup>3</sup>
Alfafa	-	-	50
Algodão	30	30	20 a 40
Amendoim	20	-	20
Arroz	20	20 a 30	10
Aveia	20	-	-
Bananeira	20 a 30	-	30
Café(Pós plantio)	-	12 g de S/cova	-
Café (Produção)	-	1/8 da dose de N	1/8 da dose de N
Cana	30	30	-
Cebola	-	-	30 a 50
Cevada	20	-	10
Chá	-	-	40
Ervilha	20	-	20
Feijão	20	20	20 a 30
FORAGENS	-	-	20 a 30
Girassol	20	20 a 30	-
Grão de bico	20	-	-
Leguminosas p/adubos verdes	20	-	-
Mamona	20	20	-
Mandioca	20	-	-
Milheto	20	-	-
Milho	20 a 30	30 a 50	20 a 40
Pastagens	30	20 a 40	-
Pupunha	-	-	20 a 50
Soja	20 a 30	30	15 kg de S/t
Sorgo	20	30	20 a 40
Tomate	-	-	20 a 40
Trigo	20	-	20
Triticale	20	-	20

Fonte: <sup>1</sup>Sousa & Lobato (2004); <sup>2</sup>Ribeiro et al. (1999); <sup>3</sup>Raj et al. (1996).

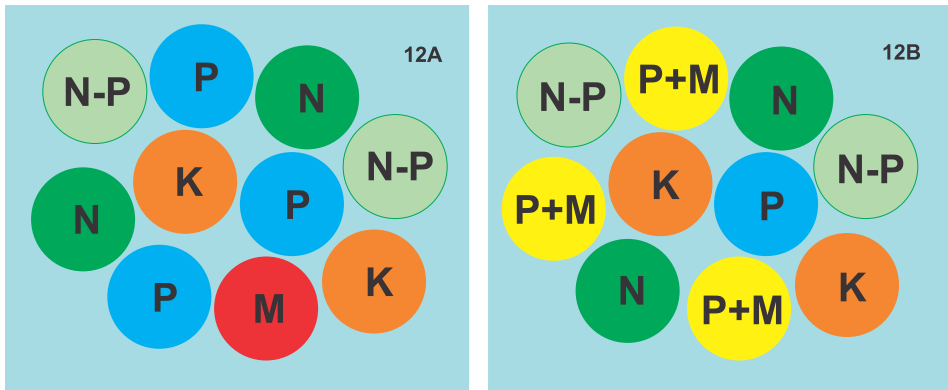
## f) Possibilidade de inclusão de micronutrientes

A grande maioria dos fertilizantes comercializados no Brasil se constitui em mistura de grânulos, quando, para atendimento das necessidades de macronutrientes primários, secundários e micronutrientes, são misturados fertilizantes simples contendo nitrogênio, fósforo, potássio, micronutrientes, e incidentalmente, cálcio, magnésio e enxofre.

Nesse caso, mesmo que os fertilizantes simples contendo nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes apresentem uniformidade quanto ao tamanho dos grânulos, a presença dos micronutrientes na forma granulada em mistura com outros fertilizantes simples, também granulados, leva a uma distribuição não muito uniforme dos micronutrientes, por ocasião da aplicação para as mais diversas culturas, pois em uma tonelada dessa mistura a presença do fertilizante granulado contendo micronutrientes normalmente não passa de 50 quilos por tonelada, sendo, em alguns casos, de apenas 10 kg por tonelada. Como a maioria dos micronutrientes se movimenta do fertilizante para as raízes das plantas por difusão, fenômeno que não passa de alguns milímetros do ponto de aplicação, a absorção dos micronutrientes é dificultada e afeta a produção das culturas (Figura 12A— adaptada de Lopes, 1999).

Um aspecto que merece destaque em relação aos fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica é o fato desses produtos viabilizarem a inclusão de micronutrientes para atendimento da demanda desses para as culturas. Sob esse aspecto já existe tecnologia que vem sendo implementada por várias empresas para a inclusão do produto fornecedor de micronutrientes dentro do grânulo de fertilizante fosfatado (Figura 12B) e que proporciona maior uniformidade na mistura e melhor distribuição dos micronutrientes já que estes serão carregados por maior número de grânulos.





**Figura 12**

Exemplos de misturas de grânulos contendo micronutrientes: micronutriente em cada grânulo = 12A; micronutriente incorporado ao grânulo contendo fósforo = 12B.

**Fonte: Adaptado de Lopes (1999)**

Esses produtos, além de permitirem uma maior uniformidade de aplicação dos micronutrientes e maior eficiência agrônômica, apresentam vantagens adicionais em função da acidez gerada pela dissolução do fertilizante fosfatado, o que aumenta a disponibilidade de micronutrientes catiônicos. O grande benefício dos fertilizantes fosfatados de baixa concentração via rota sulfúrica quanto a esse aspecto é que, nesse caso, em função do pH extremamente ácido (aproximadamente 2,5) na região imediatamente próxima ao grânulo do fertilizante, pode-se utilizar como fonte de micronutriente os óxidos que seriam de baixa eficiência agrônômica se fossem aplicados isoladamente.

Exemplos de solubilidades médias de micronutrientes atingidas durante a produção de diferentes fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica são mostrados na Tabela 25.

**Tabela 25**

Solubilização percentual de micronutrientes em vários fosfatos acidulados sulfúricos.

00-14-00 + micros				
Micronutriente	Extrator			
	Total (HCl)	H <sub>2</sub> O	AC <sup>1/</sup> (2%)	CNA <sup>2/</sup> (1+1)
	%			
Zn	1,50	50,0	87,0	*
B	0,50	69,0	82,0	*
Cu	0,50	26,0	*	76,0
Mn	1,50	37,0	*	82,0

00-17-00 + micros				
Micronutriente	Extrator			
	Total (HCl)	H <sub>2</sub> O	AC <sup>1/</sup> (2%)	CNA <sup>2/</sup> (1+1)
	%			
Zn	0,20	71,0	90,0	*
B	0,25	73,0	83,0	*
Cu	0,25	44,0	*	76,0
Mn	0,40	56,0	*	77,0

00-17-00 + micros				
Micronutriente	Extrator			
	Total (HCl)	H <sub>2</sub> O	AC <sup>1/</sup> (2%)	CNA <sup>2/</sup> (1+1)
	%			
Zn	0,25	77,0	93,0	*
B	0,15	86,0	93,0	*
Cu	0,12	45,0	*	69,0
Mn	0,60	63,0	*	83,0

<sup>1/</sup> Ácido cítrico a 2%; <sup>2/</sup> Citrato neutro de amônio + água.

Fonte: José Francisco da Cunha (dados não publicados).

**g) Eliminação ou diminuição da adição de inertes insolúveis no preparo de fórmulas**

Outro aspecto importante em relação aos fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica é a menor quantidade ou mesmo a eliminação de adição de inertes insolúveis na preparação de misturas de grânulos.

Para facilitar a exposição desse tópico, ele será dividido em duas partes: I) Como carga para ajuste de fórmula; e, II) Substituição do superfosfato

simples por outros componentes fornecedores de nutrientes e de baixo custo.

**I) Como carga para ajuste de fórmula:** De início, deve-se lembrar que o uso de cargas é proibido na comercialização de fertilizantes simples. Entretanto, o inerte pode ser usado na granulação de composições ou nas misturas (limitado a 10% em massa) com a finalidade de ajustes na composição, sendo exigência legal a declaração do seu conteúdo na mistura.

A Instrução Normativa N° 5, de 23 de fevereiro de 2007, estabelece no seu artigo 1°, inciso XVI, que carga é o “material adicionado em mistura de fertilizantes, para o ajuste de formulação, que não interfira de forma negativa na ação destes e pelo qual não se ofereçam garantias em nutrientes no produto final”. Esta mesma Instrução Normativa estabelece, no artigo 23 que, “a porcentagem máxima de carga numa mistura física de fertilizantes não poderá ser superior a 10% (dez por cento) em massa da mistura”.

Os materiais aprovados para uso como cargas em formulações de fertilizantes minerais são apresentados na Tabela 26.

**Tabela 26**

Materiais aprovados para uso como cargas em formulações de fertilizantes minerais

Carga	Observação
Granilha <sup>(1)</sup>	Rocha calcária que apresenta suas partículas de tamanho compatíveis com a granulometria do produto em que estiver sendo adicionada
Quartzo, Argila e Saibro Vermiculita	Partículas de tamanho compatíveis com a granulometria do produto em que estiver sendo adicionada
Pirofilita e filito Caulim Turfa Farelos e tortas de origem vegetal	Partículas de tamanho compatíveis com a granulometria do produto em que estiver sendo adicionada. Deve apresentar baixo teor de umidade
Estercos e camas de aviário	Devem apresentar baixo teor de umidade e ser peneirados ou granulados. Partículas de tamanho compatíveis com a granulometria do produto em que estiver sendo adicionada

<sup>(1)</sup> Uso aprovado: ajuste de formulação de fertilizantes minerais mistos

Fonte: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=12798>



A Tabela 27 apresenta um exemplo do uso de carga, geralmente para reduzir o custo do produto mas que, conseqüentemente, reduz o conteúdo de nutrientes. Neste exemplo, o uso de 100 kg/tonelada de carga ocasiona uma perda de 1,8% no teor de enxofre do produto devido à redução na quantidade do super simples 18% usada (de 507 kg/tonelada para 343 kg/tonelada).

### Tabela 27

Exemplo da composição de matérias-primas para produção de duas fórmulas 00-18-18, com adição de 100 kg de carga e sem adição de carga por tonelada.

Fórmulas	Superfosfato simples 18	Superfosfato triplo	KCl	Carga	Enxofre	Cálcio
	kg tonelada <sup>-1</sup>				%	%
00-18-18	343	257	300	100	3,8	9,3
00-18-18	507	193	300	0	5,6	11,4

A questão principal para o consumidor seria se estes 18 kg de enxofre “perdidos” no produto (redução do teor em 1,8%, de 5,6% para 3,8% de S) equivalem a uma possível economia ao adquirir o fertilizante. Em uma adubação de soja, por exemplo, usando-se 400 kg/ha desta fórmula, a dose de enxofre/ha será reduzida de 22,4 kg (já abaixo dos 30 kg normalmente recomendados) para apenas 15,2 kg, e, portanto, apenas a metade da dosagem recomendada. Com isto, na maioria das vezes a diferença de preço obtida na compra de fertilizante que contenha carga é muitas vezes bem menor que a perda de produção ocasionada pela falta do nutriente que deveria estar em maior concentração no fertilizante.

Outro exemplo, como comparação para o ajuste da fórmula, é apresentado na Tabela 28.

### Tabela 28

Exemplo de composição para produção de três fórmulas 02-20-10, com adição de 100 kg, 66 kg de carga e sem adição de carga (por tonelada)

Fórmulas	Superfosfato Simples 18	MAP	Superfosfato Triplo	KCl	03-17-00	Carga	Enxofre	Cálcio
kg tonelada <sup>1</sup>							%	%
02-20-10	585	182	0	167	0	66	6,4	10,5
02-20-10	529	182	22	167	0	100	5,8	9,5
02-20-10	269	76	100	167	388	0	6,8	11,4

Neste último exemplo, na primeira opção poderia ser usado 66 kg de carga. No 2º exemplo, seria usado a carga no limite, isto é, 100 kg/tonelada. Na 3ª opção, poderia também ser usado como componente, e de maneira equilibrada nas dosagens, o 03-17-00, com menores perdas no teor de S do produto.

Um fator fundamental para que não ocorra a substituição de superfosfato simples nas misturas é um adequado posicionamento para o preço dos fertilizantes fosfatados como o superfosfato simples. A análise dos custos dos produtos de alta concentração deve ser feita em cada pólo produtor de misturas para se encontrar um ponto de equilíbrio para o preço destes fertilizantes, visando anular a vantagem econômica para o misturador recorrer ao uso de cargas e com isto fabricar misturas de fertilizantes que contenham menos enxofre que o esperado para determinada formulação.

Para evitar este custo inútil do uso dos inertes, o consumidor pode exigir de seus fornecedores que o produto contenha, no mínimo, os teores de enxofre indicados na Tabela 29, a qual foi elaborada a partir das principais composições destas misturas. Estes produtos podem ter até teores superiores aos indicados em função do teor de enxofre do superfosfato simples utilizado na mistura ou, ainda, se a fórmula contiver nitrogênio, devido ao uso de sulfato de amônio, mas nunca poderá ter menos que o teor indicado. Deve ser considerado apenas que em fórmulas que contenham até 50 kg/t de produto fornecedor de micronutriente, os teores de enxofre podem cair em torno de 0,6%, devido ao rebalanceamento dos fertilizantes da composição para manter a mesma fórmula.

**Tabela 29** - Teores mínimos de enxofre (S) que devem ser encontrados nas formulações

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Soma NPK	% S	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Soma NPK	% S
0	15	15	30	7,7	2	18	24	44	3,4
0	15	20	35	6,1	2	18	30	50	2,0
0	15	30	45	3,1	2	20	6	28	7,4
0	16	10	26	8,7	2	20	10	32	6,3
0	16	16	32	6,9	2	20	15	37	5,0
0	16	24	40	4,5	2	20	16	38	4,8
0	18	6	24	9,1	2	20	18	40	4,3
0	18	10	28	8,0	2	20	20	42	3,8
0	18	12	30	7,3	2	20	30	52	1,3
0	18	18	36	5,5	2	24	12	38	4,5
0	18	24	42	3,7	2	24	18	44	3,0
0	18	30	48	1,9	2	24	24	50	1,5
0	20	6	26	8,4	2	24	30	56	0,0
0	20	10	30	7,2	2	25	25	52	0,9
0	20	15	35	5,7	3	15	10	28	7,9
0	20	16	36	5,4	3	15	15	33	6,7
0	20	18	38	4,7	3	15	30	48	3,1
0	20	20	40	4,1	3	18	10	31	7,1
0	20	30	50	1,1	3	18	18	39	5,1
0	25	25	50	0,7	3	20	20	43	4,0
2	15	10	27	8,2	3	24	12	39	4,7
2	15	15	32	6,7	3	24	18	45	3,2
2	15	20	37	5,4	3	24	24	51	1,7
2	15	30	47	2,9	3	24	30	57	0,2
2	16	8	26	8,4	4	14	8	26	8,1
2	16	10	28	7,8	4	14	10	28	7,7
2	16	16	34	6,1	4	14	14	32	6,7
2	16	24	42	4,1	4	14	20	38	5,3
2	18	6	26	8,2	4	14	30	48	2,8
2	18	10	30	7,0	4	16	8	28	7,8
2	18	12	32	6,4	4	16	10	30	7,3
2	18	18	38	4,9	4	16	16	36	5,8



N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Soma NPK	% S
4	16	20	40	4,9
4	16	30	50	2,5
4	18	10	32	6,9
4	18	18	40	5,0
4	18	30	52	2,1
4	20	6	30	7,5
4	20	10	34	6,5
4	20	12	36	6,1
4	20	15	39	5,3
4	20	18	42	4,6
4	20	20	44	4,1
4	20	24	48	3,1
4	20	30	54	1,6
4	24	8	36	5,8
4	24	12	40	4,8
4	24	16	44	3,8
4	24	20	48	2,8
4	24	24	52	1,8
4	24	30	58	0,3
4	25	10	39	5,0
4	25	15	44	3,8
4	25	20	49	2,5
4	25	25	54	1,3
4	25	30	59	0,0
4	30	10	44	3,4
4	30	16	50	1,9
4	30	20	54	0,9
5	15	10	30	7,0
5	15	15	35	5,8
5	15	20	40	4,6
5	15	30	50	2,2

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Soma NPK	% S
5	20	10	35	6,1
5	20	15	40	4,9
5	20	20	45	3,7
5	20	30	55	1,3
5	25	10	40	5,2
5	25	15	45	3,9
5	25	20	50	2,7
5	25	25	55	1,4
5	25	30	60	0,2
5	30	10	45	3,6
5	30	15	50	2,3
5	30	20	55	1,1
6	16	10	32	6,4
6	16	16	38	5,0
6	16	20	42	4,0
6	16	30	52	1,6
6	20	6	32	6,6
6	20	12	38	5,2
6	20	18	44	3,7
6	20	30	56	0,8
6	24	12	42	4,4
6	24	18	48	3,0
6	24	24	54	1,6
6	24	30	60	0,1
6	30	6	42	4,7
6	30	12	48	3,2
6	30	18	54	1,7
6	30	24	60	0,2
8	16	16	40	4,1
8	20	20	48	2,4
10	10	10	30	5,8

**Obs.:** formulações que contenham micronutrientes poderão ter o teor de enxofre em torno de 0,6% abaixo do indicado na tabela.



Deve-se lembrar, ainda, que o consumidor deve ser informado no rótulo do produto quanto ao uso da carga. Outra ação é reivindicar junto ao MAPA a fiscalização da identificação correta dos produtos, garantindo ao comprador a informação correta.

**II) Substituição por fertilizantes de baixo custo:** De forma similar ao uso de cargas, produtos granulados contendo nutrientes secundários têm sido usados para substituí-las objetivando-se reduzir o custo das misturas, com a diferença de que o uso não fica limitada ao máximo de 100 kg/tonelada, podendo ser usado em qualquer quantidade e até mesmo substituindo todo o superfosfato simples das misturas.

Continuando no exemplo do 00-18-18 da Tabela 28 e anteriormente discutido, ter-se-ia a situação mostrada na Tabela 30, com utilização de até 309 kg deste tipo de “carga” que pouco benefício nutricional terá para a lavoura do produtor, pois o seu conteúdo de Ca, Mg ou Si pode ser proporcionado pelo uso de corretivos com custos muito menores.

**Tabela 30**

Exemplo de composição para produção de três fórmulas 00-18-18, com adição de 309 kg, 100 kg de carga e sem adição de carga (por tonelada)

Fórmulas	Superfosfato Simples 18	Superfosfato Triplo	KCl	Carga	Enxofre	Cálcio
	kg tonelada <sup>1</sup>					
00-18-18	343	257	300	100	3,8	9,3
00-18-18	507	193	300	0	5,6	11,4
00-18-18	0	391	300	309	0	*

\* O teor de cálcio vai depender do teor do nutriente no fertilizante usado como “carga”.

Como estes fertilizantes utilizados nas misturas são produzidos a partir de corretivos reconhecidos pelo Ministério da Agricultura, o consumidor deve ser informado no rótulo do produto ou no seu documento fiscal quanto ao seu uso, indicando que o fertilizante contém componentes com propriedades corretivas e informando o nome deste e o percentual de

participação na mistura. O comprador de fertilizantes deve portanto ficar atento as garantias de todos os nutrientes no produto e da existência de declaração de adição de corretivos ou inertes no produto adquirido.

#### **h) Grande capacidade instalada de produção com redução das importações de fertilizantes fosfatados**

Outro ponto que merece destaque em relação aos fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica é sua grande capacidade instalada de produção.

Os dados apresentados na Tabela 31 mostram que, dentre todos os fertilizantes listados, o superfosfato simples é o que apresenta uma maior capacidade instalada de produção para os níveis de demanda atual. A contribuição do termofosfato, que também apresentou uma capacidade instalada de produção maior que a demanda para 2014, é relativamente ínfima em comparação com o superfosfato simples. Em termos comparativos, a capacidade instalada do Brasil para a produção de superfosfato triplo, por sua vez, é apenas 58,7% do consumo aparente em 2014 (ANDA, 2015).

Numa expectativa de aumento das importações de fertilizantes para atendimento da demanda nacional em futuro próximo, um aumento na produção e consumo de superfosfatos simples e outros fertilizantes fosfatados de baixa concentração obtidos via rota sulfúrica não é apenas agronomicamente recomendável pelas razões anteriormente expostas, mas, sobretudo estrategicamente necessário.

**Tabela 31**

Oferta de alguns fertilizantes para a agricultura brasileira em 2014

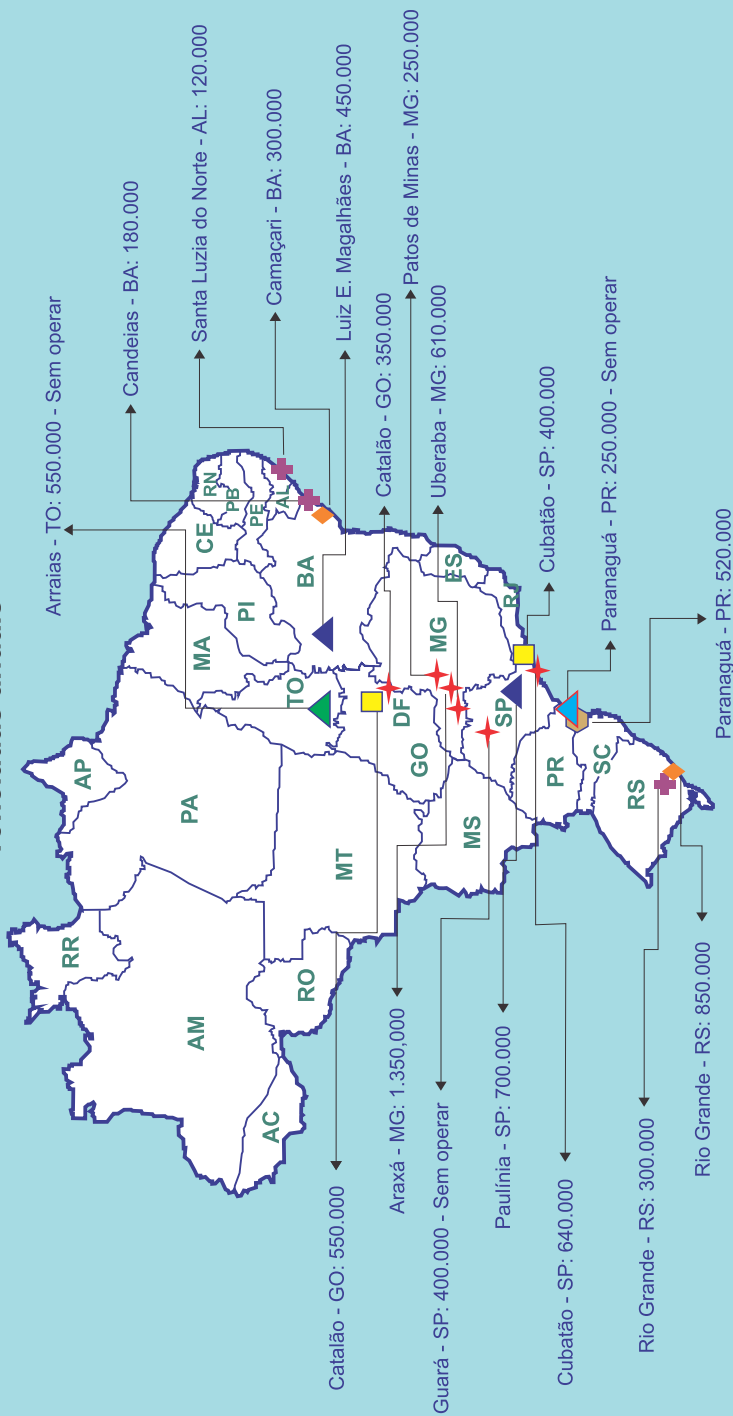
Produto	Produção Nacional	Importação	Total	Capacidade instalada	Capacidade/
					Total
x 1.000 t					%
Sulfato de amônio	303	1.672	1.975	783	39,6
Uréia	830	4.049	4.879	1.653	33,9
Nitrato de amônio	279	1.302	1.581	410	25,9
MAP/DAP	1.173	3.780	4.953	1.485	30,0
Superfosfato simples	4.626	608	5.234	8.770	<b>167,5</b>
Superfosfato triplo	916	938	1.854	1.089	58,7
Termofosfato	47	-	47	180	283,0
Cloreto de Potássio	492	9.083	9.575	655	6,8
Complexos	152	2.203	2.355		

Fonte: ANDA (2015)

A Tabela 31 demonstra que a capacidade instalada para a produção de superfosfato simples não só pode atender a demanda atual de consumo como garantir uma maior participação percentual no consumo futuro de fósforo, possibilitando, assim, substituir a importação de outros fertilizantes fosfatados. Ressalta-se que um aumento de 1 milhão de toneladas no consumo de superfosfato simples representa uma redução aproximada de 400.000 t de supertriplo importado, economizando divisas e reduzindo a dependência externa. Outra vantagem apresentada pela produção dos fosfatos acidulados sulfúricos é a distribuição da sua produção pelo território brasileiro, otimizando os custos de fretes de matérias-primas e de distribuição do fertilizante até os locais de consumo. A Figura 13 apresenta a distribuição das unidades produtoras atualmente existentes.

# CAPACIDADE INSTALADA PARA PRODUÇÃO DE SUPERFOSFATO SIMPLES

## Toneladas anuais



**Figura 13**  
Localização das unidades produtoras de superfosfatos simples  
Fonte: ANDA (2015)



Esta localização é favorável a redução dos custos ambientais da produção de fertilizantes pois a maioria das unidades estão localizadas próximas a obtenção dos fosfatos utilizados na sua fabricação. Como ainda podem contar com unidade de produção de ácido sulfúrico, a produção gera energia e para a obtenção de 1 tonelada de  $P_2O_5$  é necessário transportar a longas distâncias apenas os 550 kg de enxofre elementar necessários para a produção do ácido sulfúrico no local enquanto que para utilizar 1 tonelada de  $P_2O_5$  através de fertilizantes será necessário efetuar o transporte de 2.170 kg de superfosfato triplo desde o norte da África por exemplo.

Neste aspecto, merece um destaque especial também a questão relativa ao uso de enxofre elementar. Enquanto o seu uso na fabricação de fertilizantes fosfatados proporciona a obtenção de fertilizantes com adequada eficiência agrônômica, ainda mantém o enxofre como um nutriente em uma forma prontamente assimilável, na forma de sulfato. Outras alternativas como o uso de enxofre elementar diretamente na adubação se constitui em uma perda destas benefícios e de certa forma um desperdício de recursos pois o seu potencial para a produção de fertilizantes solúveis foi perdido assim como a oportunidade de geração de energia.

Ainda merece destaque a menor pegada de carbono do superfosfato simples em relação a outros fertilizantes pois segundo Koll et al. (2012), o superfosfato simples apresenta na média mundial um consumo de apenas 0,16 kg de  $CO_{2eq}$  (pegada de carbono em uma medida padronizada entendida como o consumo equivalente de dióxido de carbono) por kg de  $P_2O_5$  e na América do Sul o consumo de superfosfato simples é maior que em qualquer outra parte do mundo graças ao grande uso no Brasil. Como exemplo comparativo, o superfosfato triplo apresenta um consumo de 0,45 kg de  $CO_{2eq}$  por kg de  $P_2O_5$  e os fertilizantes nitrogenados a título de exemplo tem consumo de 5 kg de  $CO_{2eq}$  por kg de N na forma de ureia e de 9,47 quando produzido na forma de nitrato de amônia.



# 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos maiores desafios da humanidade é atender à demanda mundial da produção de alimentos em virtude do crescimento populacional nas próximas décadas. A produção mundial de alimentos, que foi de 2 bilhões de toneladas em 1990, quando a população mundial era de 5,2 bilhões de habitantes, deverá atingir 4 bilhões de toneladas no ano de 2025, quando a população mundial chegará a 8,3 bilhões de habitantes, conforme projeções da Organização Mundial para Alimentação e Agricultura (Borlaug & Dowswell, 1992). Para que essas metas sejam alcançadas, a produtividade média mundial de grãos, que era de 2,5 toneladas por hectare em 1990, necessita atingir 4,5 toneladas por hectare em 2025. A palavra-chave é, portanto, produtividade, a qual deverá estar sintonizada com a sustentabilidade do processo produtivo, incluindo-se, nesse contexto, a minimização de riscos ao meio ambiente.

O Brasil é um dos poucos países com amplas possibilidades de ser um participante importante nesse processo, que envolve a segurança alimentar, pelas seguintes razões (Lopes et al., 2009):

1) Apresenta possibilidades de ganhos expressivos em produtividade média de muitas culturas, principalmente as que se constituem em alimentos básicos, graças aos investimentos feitos em pesquisas agropecuárias nas últimas décadas, aliados ao desenvolvimento das atividades de ensino das ciências agrárias e à difusão de tecnologia.

2) Dispõe da maior área agricultável e de maior fronteira mundial para a expansão da agricultura, pois dos 394 milhões de hectares de terras agricultáveis do Brasil, apenas 15,7% estão sendo usados. Os EUA, com 269 milhões de ha de terras agricultáveis, utiliza 69,9% de suas áreas, enquanto que a Rússia utiliza 60,0% de seus 220 milhões de ha de terras agricultáveis e a União Européia utiliza 65,9% de seus 176 milhões de ha de terras agricultáveis.

3) Dispõe de água – cerca de 14% da água doce disponível do planeta está no Brasil –, o que revela um grande potencial para expansão da área irrigada, com sensíveis aumentos nas produtividades das culturas.

4) Possui condições climáticas e eco-regionais que possibilitam o plantio de culturas que acumulam grandes quantidades de biomassa, com potencial para produção de biocombustíveis.

5) Possui o domínio de pacote tecnológico agrícola que propicia o aproveitamento de fontes naturais de nutrientes de baixo impacto ambiental, como é o caso dos sistemas de cultivo com uso intensivo de plantas e organismos dotados de aparato para fixação de N atmosférico.

Entretanto, para que a vocação agrícola brasileira possa ser exercida em sua plenitude, torna-se necessário, também o uso eficiente dos fertilizantes minerais e dos corretivos que ocupam lugar de destaque como tecnologia inconteste para o aumento da produtividade agrícola com sustentabilidade ambiental.

Um motivo de preocupação é a alta dependência, em futuro próximo, das importações de fertilizantes que em 1983 eram de apenas 32% do total consumido, com a produção interna respondendo por 68% do total. Conforme Outlook FIESP 2025 (2015), em 2014 as importações atingiram 87% do consumo. Considerando os fertilizantes fosfatados, em 2014 a produção interna atingiu 33% do consumo, sendo estimado que as necessidades de importações de fertilizantes fosfatados em 2025 poderá atingir 55% do consumo considerando um cenário otimista para os investimentos no país ou permanecer em 67% considerando um cenário menos favorável para os investimentos no período.

Embora, a curto e médio prazo, seja utópico pensar em auto-suficiência na produção de matérias-primas e fertilizantes no Brasil, no caso do  $P_2O_5$  ressalta-se que grande parte das rochas brasileiras são adequadas à produção de fertilizantes fosfatados de baixa concentração via rota sulfúrica e que há grande capacidade instalada para isto. Desta forma, poderíamos reduzir a dependência de importações de fosfatados usando a capacidade instalada disponível.

Face ao exposto, pode-se apresentar alguns pontos para reflexão em relação à tomada de decisão quanto ao uso do superfosfato simples ou outros fertilizantes fosfatados de baixa concentração acidulados totalmente via rota sulfúrica passíveis de registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento:

a) A grande deficiência de enxofre que ocorre em cerca de 70% dos solos do Brasil e as exigências desse nutriente, pelas mais diversas culturas, faz com que os fosfatos totalmente solubilizados via rota sulfúrica, dentre os demais fertilizantes fosfatados, ocupem lugar de destaque;

b) A presença do sulfato de cálcio na composição desses fertilizantes traz para as condições de grande percentagem dos solos brasileiros, notadamente os da região dos cerrados, vantagens adicionais na diminuição da toxidez de alumínio e deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais do solo, contribuindo para o aprofundamento do sistema radicular e uma maior tolerância aos problemas de veranicos, fato comum e altamente limitante para se buscarem Produtividades Máximas Econômicas e sustentabilidade;

c) Uma utilização mais plena da capacidade de produção dos fertilizantes fosfatados de baixa concentração solubilizados via rota sulfúrica, significativamente superior à demanda atual, pode contribuir para uma significativa diminuição da dependência externa de fertilizantes fosfatados para a agricultura brasileira;

d) A abertura dada na legislação brasileira, permitindo a fabricação, registro e comercialização de superfosfatos simples amoniados, fosfatos acidulados sulfúricos e multifosfatos magnesianos, pela possibilidade de exploração de fosfatos naturais brasileiros que, por suas características de apresentarem altos teores de sesquióxidos de ferro e alumínio, não seriam passíveis de atender as exigências de solubilidade em água para registro como superfosfatos simples é estratégica para utilização mais plena dos depósitos de fosfatos naturais brasileiros, sem representar diminuição da eficiência agrônômica desses novos produtos.

- ALCORDO, I.S. & RECHCIGL, J.E. Phosphogypsum in agriculture: a review. *Adv. Agron.* 59:55-118, 1993.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2014. São Paulo: ANDA, 2015. 176p.
- BORLAUG, N.E & DAWSWELL, C.R. Fertilizer: To nourish infertile soil that feeds a fertile population that crowds a fragile world. In: *IFA – ANNUAL CONFERENCE*, 61., New Orleans, 1993. Proceedings. New Orleans, 1992. 18p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal. Rio de Janeiro, EPE-EPFS. Boletim Técnico N° 8, 1967. 127p.
- CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo em sistema de plantio direto já estabelecido. V Simpósio Regional IPNI Brasil sobre Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes 28 e 29 de Maio de 2013, Rio Verde-GO.
- COLLINGS, G.H. Commercial fertilizers. 5ª edição. McGraw Hill Book Co., Inc., New York. 1955.
- COUNCIL. Directive on the Approximation of the Laws of the Member States Relating Fertilizers. Official Journal of the European Communities, n. L 24, p.22-44, 1976. (Directive, 76/116/EEC).
- CPAC. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1977-1978. Brasília, DF, EMBRAPA-CPAC. 1979. 192p.
- CPAC. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1979-1980. Brasília, DF, EMBRAPA-CPAC. 1981. 190p.
- CUNHA, J.F; LOPES, A.S.; GUILHERME, L;R;G. The importance of single superphosphate for tropical agriculture. 16<sup>th</sup> World Fertilizer Congress of CIEC. Rio de Janeiro, RJ. 2014.
- FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Outlook Fiesp 2025: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: FIESP, 2015.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOZA, W. & OLIVEIRA, A.J. de (Eds.): ANAIS DO SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Brasília, DF, Embrapa-DEP. 1984. p. 255-289.
- GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Science Society of America Journal* 43:1155-1158, 1979.
- GRAY, A.N. Phosphates and superphosphates. 2a edição, E. T. Heron & Con., Ltda, London, 1944.
- HITSUDA, K.; SFREDO, G.J.; KLEPKER, D. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. *Soil Science Society of America Journal* 68:1445-1451, 2004.
- IBRAFOS. Anais do I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Brasília: Embrapa-DDT, 1986. 296p.
- IBRAFOS. Anais do II Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. São Paulo: Instituto Brasileiro do Fosfato, 1992. 413p.
- JOHNSTON, A.E. Water solubility of phosphate fertilizers. In: THE FERTILIZER INSTITUTE'S 1999 WORLD FERTILIZER CONFERENCE, New York, 1999. Proceedings. New York: The Fertilizer Institute, 1999. p.1-31.
- KOLL, A.; MARINUSSEN, M.; BLONK, H. LCI data for the calculation tool feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization. Gouda, Holanda. Blonk Consultants, 2012. 20p.
- LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F.; DAMATO, H.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P. & MALAVOLTA, E. Solubilidade e disponibilidade de adubos fosfatados obtidos pela acidulação sulfúrica de diferentes rochas fosfáticas brasileiras. FERTBIO 2008- 28ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Londrina, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solos, 2008. v.1, p.1-4.
- LOPES, A.S. Available water, phosphorus fixation and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. Tese de PhD. Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, NC, EUA. 1977. 189p.
- LOPES, A.S. Micronutrientes – Filosofias de aplicação e eficiência agrônômica.. São Paulo: ANDA, Boletim Técnico N° 8, 1999. 72p.

LOPES, A.S.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R. Suprimento e extensão das reservas de nutrientes no Brasil. Palestra apresentada no 32º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, CE, 2 a 7 de agosto de 2009.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola – Adubos e adubação. 2ª edição. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 606 p. 1967.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H. & VITTI, G.C. Gesso agrícola: seu uso na adubação e correção do solo. São Paulo. Ultrafertil, 1979. 329.

MULLINS, G.L. & EVANS, C.E. Field evaluation of commercial triple superphosphates fertilizers. Fertilizer Research, v.25, p.101-106, 1990.

MULLINS, G.L. & SIKORA, F.J. Field evaluation of commercial monoammonium phosphate fertilizers. Fertilizer Research, v.22, p.1-6, 1990.

MULLINS, G.L. & SIKORA, F.J. Effect of impurity compounds on the performance of phosphorus fertilizers. In: SIKORA, F.J. (Ed.) Future direction for agricultural phosphorus research. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, 1992. p. 53-56. (TVA Bulletin, Y-224).

MULLINS, G.L. & SIKORA, F.J. Effect of soil pH on the requirement for water-soluble phosphorus in triple superphosphates fertilizers. Fertilizer Research. The Hague, v. 40, p. 207-214, 1995

MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J. & WILLIAMS, J.C. Effect of water insoluble P on the effectiveness of triple superphosphate fertilizers. Soil Science Society of America Journal. Madison, v. 59, p.256-260, 1995.

OLMOS, I.L.J. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil: sua caracterização e distribuição. Ciência e cultura 28: 171-180. 1976.

PAIVA, D.M.; CUNHA, J.F. Efeito do sulfato de cálcio de fertilizantes fosfatados produzidos pela rota sulfúrica. FERTBIO 2014. Araxá, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solos, 2014.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e Interpretações. Campinas: Fundação ABC/Fundação Cargill, 1988. 59p.

PAVAN, M.A. Aplicação de alguns conceitos básicos da química na disponibilidade dos íons  $Al^{3+}$  para as plantas. Palestra apresentada no curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, disciplina de Solos Tropicais, Esalq, Piracicaba. 1983 (mimeo), 34 p.

PROCHNOW, L.I.; CUNHA, J.F. da & VENTIMIGLIA, A.F.C. Field evaluation of water or citrate soluble phosphorus in modified phosphate rocks for soybean. Scientia Agricola, v.58, n.1, p.165-170, jan./mar. 2001.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; TAYLOR, R.W.; CARMONA, G.; HENAO J. & DILLARD, E.F. Characterization and agronomic evaluation of single superphosphates varying in iron phosphate impurities. Agronomy Journal, Madison, v. 95, p. 293-302, 2003a.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; DILLARD, E.F.; AUSTIN, E.R.; CARMONA, G.; HENAO, J.; SINGH, U.; TAYLOR, R.W. Synthesis, characterization, and agronomic evaluation of iron phosphates impurities in superphosphates. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.67, p. 1551-1563, 2003b.

RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo. Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1988. 88p.

RAIJ, B. van. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agronômico. 2008. 233 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REICHARDT, K. Como superar o veranico no cerrado. POTAFOS – Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP. Informações Agronômicas N° 32/Dezembro 1985. p.1-2.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª. aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M. de; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. Agron. J. 72:40-44, 1980.

- RITCHEY, K.D. & SOUSA, D.M. de. Use of gypsum in management of subsoil acidity in Oxisols. In: MONIZ, A.C. et al., (Eds.). FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW pH. Campinas, Brazilian Society of Soil Science, 1997. p. 165-178.
- SIKORA, F.J.; DILLARD, E.F. & COPELAND, J.P. Chemical characterization and bioavailability of phosphorus in water-insoluble fractions of three mono-ammonium phosphate fertilizers. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry*, v.72, p.852-856, 1989.
- SIKORA, F.J. & GIORDANO, P.M. Future directions for agricultural phosphorus research. *Fertilizer Research*, v.41, p.167-178, 1995.
- SILVA, N.M. & RAIJ, B. van. O uso do gesso e do superfosfato simples na cultura do algodoeiro. In: Anais do II Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. São Paulo, IBRAFOS. 1992. p. 159-174.
- SILVA, R.C. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados com solubilidade variada. Tese Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba - SP, 2013. 166 p.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.
- SOUSA, D.M.G. de & LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004, 2ª. ed. 416p.
- SUMNER, M.E. Gypsum and acid soils: the world scene. *Adv. Agron.* 51:1-32, 1993.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A.; & FEY, M.V. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.* 9:1-111, 1989.
- VAN KAUWENBERGH, S. J.; MIKKELSEN, S.; MIKKELSEN, R. World reserves of phosphate rock... a dynamic and unfolding story. *Better Crops* 97, (3), 18,2013.
- VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. ; MALAVOLTA, E. ; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. Uso do gesso em sistemas de produção agrícola. Piracicaba, GAPE. 2008. 104p.
- WOLF, J.M. Water constraints to corn production in Central Brazil. Tese de PhD, Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, New York, USA. 1975. 199p.
- YOUNG, R.D. & DAVIS, C.H. Phosphate fertilizers and process technology. In: KHASAWNEH, F.E. et al. (Eds.). The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, EUA. 1980. p.195-226.
- ZANCANARO, L.; TESSARO, L.C.; JOEL, H. Enxofre. Palestra apresentada no III Encontro Técnico – Fundação MT. Santo Antonio do Leverger, MT, 25 a 28 de junho de 2003. CDRom.