COMPORTAMENTO DE FOSFATOS SILICATADOS
EM SOLO DE CERRADO

MINORU YASUDA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. TOSHIAKI KINJO

Dissertação apresentada à
Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área
de concentração: Solos e
Nutrição de plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Y29c Yasuda, Minoru
 Comportamento de fosfatos silicatados em solo de
 cerrado. Piracicaba, 1989.
 62p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cerrado - Solo 2. Fosfato silicatado em solo
Comportamento 3. Fósforo em solo - Disponibilidade
4. Latossolo vermelho-escuro álico 5. Silício em so
lo 6. Solo - Acidez 7. Solo - Fertilidade I. Escola
Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.42

COMPORTAMENTO DE FOSFATOS SILICATADOS EM SOLO DE CERRADO.

MINORU YASUDA

Aprovada em: 13/12/1989

Comissão Julgadora:

Prof.Dr. Toshiaki Kinjo	ESALQ/USP
Prof.Dr. Ronaldo Ivan Silveira	ESALQ/USP
Prof.Dr. Takashi Muraoka	CENA

Prof.Dr. Toshiaki Kinjo
Orientador

Esta Tese é dedicada

*à minha esposa Cecília,
pelo apoio e compreensão.*

*E aos meus filhos, Gustavo
e Thaïs Helena.*

*À memória do meu pai,
minha mãe e meus irmãos
ofereço.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Toshiaki Kinjo pela orientação, confiança e sugestões para o bom desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Leonardo Theodoro Büll e ao Professor Júlio Nakagawa pela colaboração prestada na execução deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) pela oportunidade proporcionada para realização do curso de mestrado, e ao CAPES (Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro da parte dos recursos utilizados.

Ao Professor Takashi Muraoka, pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), ao Dr. Tsuioshi Yamada, Diretor da Potafós, pelas valiosas sugestões e especial atenção.

À Fertilizantes Mitsui S.A. Ind. e Com., pelo apoio, incentivo e pela possibilidade de realização do Curso de Pós-Graduação.

Aos Amigos da seção técnica agrícola - Mitsui pela ajuda e convívio.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Fósforo no solo.....	03
2.2. Silício no solo e efeitos sobre plantas.....	04
2.3. Interação entre silício e o fósforo.....	09
2.4. Termofosfato magnesiano e seu emprego na agricultura.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Localização dos ensaios.....	16
3.2. Solo utilizado.....	16
3.3. Tratamentos.....	17
3.4. Ensaios em cada vegetação.....	19
3.5. Delineamento experimental.....	20
3.6. Análise química de solo após a incubação.....	20
3.7. Análise química do material vegetal.....	21
3.8. Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. Fósforo solúvel, bases trocáveis e acidez do solo	22
4.1.1. P solúvel em H_2SO_4 0,05 N e extraível em resina trocadora.....	22
4.1.2. Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis.....	28
4.1.3. Acidez do solo.....	28
4.2. Produção de matéria seca, absorção de P e bases trocáveis.....	37

4.2.1. Produção de matéria seca.....	37
4.2.2. Absorção de P.....	39
4.2.3. Absorção de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}	44
5. CONCLUSÕES.....	52
BIBLIOGRAFIA CITADA.....	53

COMPORTAMENTO DE FOSFATOS SILICATADOS EM SOLO DE CERRADO

Autor: MINORU YASUDA

Orientador: TOSHIAKI KINJO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar os fos fatos silicatados na disponibilidade do fósforo em um Latossolo Vermelho Escuro-álico (LEa), classe textural franco argilo-arenoso da Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu.

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação no Departamento de Ciências do Solo da Faculdade, em vasos cerâmicos com capacidade de 5 litros, utilizando-se alface como planta teste.

Foram utilizados três fontes fosfatadas: YOORIN (YO), YOOSIRIN (YS) e SUPER-FOSFATO TRIPLO (ST), em quantidades equivalentes a 150 ppm, avaliando-se 7 épocas diferentes de incubação espaçadas de 15 dias.

Conclui-se que o fosfatado de maior teor de sí

lica, YS apresentou os maiores teores de fósforo disponível no solo e proporcionou maiores valores de pH.

As produções de matéria seca obtidas com a aplicação das três fontes diferiram entre si, sendo que o Yoosirin proporcionou maior produção que Yoorin e este suplantou o superfosfato Triplo.

BEHAVIOR OF SILICATED PHOSPHATES IN CERRADO SOIL

Author: MINORU YASUDA

Adviser: TOSHIAKI KINJO

SUMMARY

The purpose of this work was to study the influence of silicated phosphates on some chemical properties of soil and on plant growth. The soil sample was collected from the Sandy Dark Red Latosol located at Experiment was carried out in greenhouse, using pots of 5 liter capacity and lettuce as test plant. The treatments consisted of three phosphorus sources, namely two magnesium thermophosphates - YOORIN (YO), YOOSIRIN (YS) and triple superphosphate for comparison. . The amount of 150 ppm phosphorus was applied to the soil samples which were incubated at seven different periods, spaced 15 days from one to another period. It is concluded that treatment with the phosphate containing the largest amount of silicon YS, showed, the highest value of pH and available phosphorus in the soil. The dry matter production obtained by the use of the three phosphorus sources were statistically different. Yoosirin produced more than Yoorin and the latter more than triple superphosphate.

1. INTRODUÇÃO

Com o substancial aumento de taxa de crescimento de produção agrícola brasileira nas últimas décadas, vem diminuindo a disponibilidade de áreas de cultivos tradicionais, normalmente mais férteis, principalmente nos Estados do Sul e Sudeste, chegando à necessidade do aumento da fronteira agrícola, dispondo-se como grande opção, a região dos cerrados. Cerca de 1,8 milhões de Km² ou seja 20% do território brasileiro, estendendo-se principalmente pela região Centro-Oeste e abrangendo parte da região Norte, Nordeste e Sudeste (EMBRAPA, 1978).

As áreas sob vegetação de cerrado apresentam topografia em geral, adequada a expansão de uma agricultura mais avançada, mas um dos fatores limitantes para o crescimento agrícola deve ser os baixos níveis de quase todos os nutrientes essenciais para as plantas. Inicialmente abrigava uma pecuária extensiva e de baixa produtividade, que subsistia extraindo-se carvão vegetal. Aos poucos foram implantado também projetos de reflorestamento e pastagens melhoradas, aproveitando-se de incentivos governamentais surgidos na época.

Atualmente pode-se afirmar que a região dos cer
rados representa a curto e médio prazo, a grande opção brasi
leira para sustentação de indispensáveis e altos níveis de
crescimento agrícola, desde que sejam corrigidas as deficiên
cias generalizadas de nutrientes e a elevada acidez dos solos.
Dentre os vários problemas nutricionais destes solos, ocupa
lugar de destaque a baixa disponibilidade natural de fósforo
e a alta capacidade de "fixação" deste nutriente, fazendo com
que tenham uma baixa eficiência para as culturas quando não
são adequadamente manejadas.

A calagem adequada pode proporcionar diminui
ção da fixação de fósforo. Alguns trabalhos têm demonstrado
também o efeito positivo do silício no comportamento do fós
foro em solos com alta capacidade de fixação. Este efeito po
de ser devido principalmente ao aumento do aproveitamento de
fósforo pela elevação do pH, e competição de silicato com fos
fato, pelos mesmos sítios de adsorção (HINGSTON et alii,
1968). Se forem constatados esses efeitos benéficos de silí
cio, na utilização desses fertilizantes fosfatados, de rea
ção alcalina, poderá tornar a adubação fosfatada mais efi
ciente.

Nesse sentido, conduziu-se o presente trabalho
com o objetivo de avaliar o efeito da combinação (fósforo -
silicato) na disponibilidade de fósforo em solo com alta ca
pacidade de fixação deste nutriente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fósforo no solo

O fósforo é um dos macronutrientes importante, possuindo um comportamento peculiar no solo.

Ao estudar o fósforo, é necessário conhecer a forte interação com o solo, aliada à carência generalizada deste elemento nos solos brasileiros.

A sua dinâmica no solo pode ser esquematizada como segue (Larsen, 1971; citado por VOLKWEISS & RAIJ, 1976)

Esta representação mostra que as plantas absorvem o fósforo da solução do solo, que está em equilíbrio com o chamado fósforo lábil.

A adição de fertilizantes fosfatados, princi-

palmente solúveis, altera o equilíbrio das formas de fósforo, aumentando rapidamente o P(solução), e o fósforo lábil que é disponível para as plantas. E com o tempo o fósforo lábil vai transformando-se gradativamente em fósforo não lábil que constitui o fósforo imobilizado.

O P-lábil entra em equilíbrio mais ou menos rápido com o P da solução e o P não lábil entra em equilíbrio mais lentamente. O conjunto constitui o P-sólido (VOLKWEISS & RAIJ, 1976).

A "fixação" parcial como P-lábil e total como P-não lábil é explicada pelo mecanismo de adsorção dos íons fosfato junto às superfícies de óxidos de alumínio e ferro predominantes nos solos de características ácidas, como, em geral são os solos de cerrados. Uma vez adsorvidos, passam-se à cristalização. Inicialmente, formam-se compostos amorfos e coloidais que podem passar a cristalinos, fixando-se de um modo total se ficarem oclusos. A combinação Fe-P cristaliza mais rapidamente que a combinação Al-P, e sob forma cristalina, sua disponibilidade para as plantas torna-se muito baixa.

2.2. Silício no solo e efeitos sobre plantas

O silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo principalmente na forma de silicatos e quartzo.

Os teores totais de silício na fração argila diminui com o grau de intemperismo. O aumento de intensidade do intemperismo provoca maior alteração dos minerais primários, com a conseqüente perda dos elementos mais solúveis (Ca, Mg, Na, K, etc.) e uma posterior dessilicação desses minerais. Este é o processo de formação de solos latossólicos, que possuem como minerais predominantes argilas cauliníticas, óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

RODRIGUES (1977), observou em oxissolos do Brasil Central, que os teores de aluminossilicatos amorfos variam de 5 a 19%. Estes valores foram mais elevados nos horizontes superficiais, decrescendo com a profundidade. Segundo Chwewtmann et alii citado por RODRIGUES (1977), isto ocorre porque os compostos orgânicos podem reter os óxidos de Fe e Al amorfos, retardando a sua cristalização.

O teor de silício na solução dos solos é resultante da solubilidade dos compostos sólidos contendo silício, presente no solo. Assim, a concentração de sílica na solução dos solos deve ser bastante variável. CASTRO (1975), cita valores menores que 1 a mais de 20 ppm de SiO_2 .

RAIJ & CAMARGO (1973), constataram que os teores de sílica extraível com CaCl_2 0,0025M, variaram de 2,2 a 92,2 ppm do SiO_2 e que os valores ^{maiores} foram encontrados nos solos mais argilosos, havendo também uma relação de intemperismo. Para os solos com os mesmos teores de argila, os teores de sílica solúvel foram maiores nos solos com horizonte B latossólico.

HINGSTON et alii (1968, 1972), observaram que a máxima adsorção de silicato por gibbsita e goetita ocorre em pH próximo do pK_{a1} (9,6) do ácido silícico, sendo menor em pH baixo e mais altos. McKEAGUE & CLINE (1963) pesquisaram muitas substâncias com capacidade de remover Si da solução; hematita e goetita mostram adsorção moderada, minerais silicatados e solo alcalino carbonatado apresentam pequena ou nenhuma capacidade de adsorver Si.

O silício não é reconhecido como elemento essencial às plantas, faltando ainda informações na área de ação bioquímica, sendo este, talvez, o motivo pelo qual não desperta muito interesse para os pesquisadores. A literatura internacional mostra resultados de trabalhos sobre a ação do Si no desenvolvimento e na produção de algumas culturas.

Frey Wyssling, citado por JONES & HANDRECK (1967) relata que o silício é absorvido pelas gramíneas através do fluxo de massa por processo não seletivo. O silício absorvido acumula-se nas células epidérmicas, aparentemente proporcionando uma certa resistência às doenças. Segundo JONES & HANDRECK (1977), quase a metade do total de sílica da parte aérea se localiza nas inflorescências, e o resto se distribui entre as folhas e os colmos.

A maior parte do silício encontra-se nas plantas na forma inorgânica e pequena parte em combinação como proteína nas plantas superiores (Ozaki & Higashiro, citados por OKUDA & TAKAHASHI, 1964). Grossebrauckmann citado por JO

NES & HANDRECK (1967), comparando gramíneas e leguminosas em solo húmico arenoso de pH 5,2 encontrou valores de 1,95 e 1,58% de SiO_2 em cevada e centeio, ao passo que no trevo vermelho, tremoço azul havia somente 0,12 e 0,24% de SiO_2 respectivamente.

Em plantas ricas em silício, inclusive o arroz, as concentrações chegam até 10%. Geralmente, tecidos mais velhos da planta contêm maior teor de silício do que os mais jovens. Conforme MENGEL & KIRKBY (1982) os cereais e as gramíneas contêm de 0,2 a 2% na de matéria seca, enquanto que as dicotiledôneas podem conter apenas um décimo desta quantidade ou menos.

HALAIS & PARISH (1963), constataram que a absorção de silício aplicado no solo está relacionada ao teor de óxido de Fe e de Al. Embora as espécies sejam diferentes na capacidade em absorver silício na solução de solo é a mesma encontrada na planta (Fox et alii, 1967, citado por HALAIS & PARISH, 1963). CLEMENTS (1967) observou que a aplicação de silício causou uma redução significativa de manganês na planta e admitiu que um dos efeitos do silicato consiste na redução dos efeitos tóxicos do manganês, cobre, ferro e de outros.

O silício é necessário à cultura de arroz pelas suas peculiaridades fisiológicas, atuando todo o período de desenvolvimento da planta e na formação do grão, segundo OKUDA & TAKAHASHI (1964). LEWIN & REIMANN (1969), destacam a

importância do silício nas plantas, na fertilidade do solo e na resistência ao ataque de pragas e doenças.

A função específica do silício nas plantas é pouco conhecida, mas a presença deste elemento na cana-de-açúcar em quantidades variáveis foi constatado por HUSZ (1972). Ainda que o silício seja normalmente abundante, alguns solos são deficientes. A aplicação de silicatos em solos do Havaí é feita em quantidades maiores do que 7 toneladas por hectare. Conforme RAUPACK & PIPPER (1959) a produtividade da cana-de-açúcar foi significativamente aumentada com a aplicação de silicatos em duas variedades de cana-de-açúcar, tendo os efeitos desaparecidos com a soqueira. A baixa produção de cana-de-açúcar foi melhorada pela aplicação de 7 a 17 toneladas de silicato de cálcio por hectare no plantio.

A concentração de silício na solução do solo foi diminuída na presença de carbonato de cálcio, reduzindo deste elemento pela cana-de-açúcar, AYRES (1966). Por outro lado, o silicato de cálcio foi responsável pelo aumento do pH do solo e diminuição de manganês e alumínio. Este pesquisador propôs que algum nível de disponibilidade de silício no solo deve existir, o qual é essencial para o crescimento normal da cana-de-açúcar. Segundo BAIR (1966), o teor de silício na folha foi mais elevado em plantas crescendo em solos de alta produtividade do Havaí e para algumas áreas de baixa produtividade o teor de silício estava abaixo do nível limitante de produção de cana-de-açúcar. Fox et alii

citado por BAIR (1966), sugerem que o silício solúvel pode fornecer suficiente informação sobre o teor do elemento na planta, sendo este maior na bainha que nas folhas de cana-de-açúcar. Constataram ainda que, embora os compostos solúveis de silício em tecido de cana-de-açúcar não sejam abundantes, ele se encontra em maior concentração nos tecidos menos ativos metabolicamente e também com elevado teor de fósforo. YOSHIDA (1982) et alii estudaram novo método para determinação da localização da sílica nos tecidos das plantas de reação com ácido hidrofúorídrico e verificaram a possibilidade de determinar precisamente a localização de sílica depositada.

PARRY et alii (1984), observaram que as gramíneas são ricas em silício, no entanto há uma variação de teores entre diferentes espécies. O acúmulo ocorre frequentemente nas camadas de paredes celular de endoderme da raiz, havendo também nas brácteas da inflorescência de gramíneas. No entanto foi obtido uma boa resposta da sílica no desenvolvimento e produção de cevada podendo ser considerado como importante para a cultura, (ESTEBAN et alii, 1984). MIYAKE & TAKAHASHI (1983), observaram que em solo aluvial, aplicando 700 a 1400 kg SiO_2 /ha/ano, promovem maior desenvolvimento e produção de pepino, reduzindo a incidência de doença.

2.3. Interação entre silício e o fósforo

Um aspecto importante relacionado ao comporta-

mento do silício, diz respeito ao fósforo no solo e na planta.

A literatura internacional apresenta alguns trabalhos de pesquisa nos quais tem sido demonstrado que a presença de silício aumenta o aproveitamento de fósforo aplicado no solo. KHAN & ROY (1964) constataram que o silício pode exercer algumas funções do P inclusive substituí-lo parcialmente. Foi constatado também por DEWAN & HUNTER (1949), que a aplicação de silicato de sódio e magnésio aumentou o teor de P na soja, porém, a absorção de P, aumentou somente em presença de baixas relações de fósforo, concordando com as observações de RALEIGH (1953). Por outro lado, ROTHBUHR & SCOTT (1957), usando silício radioativo, mostraram que a adição de fósforo reduz levemente a quantidade de silício, absorvido pelo trigo, tendo o silicato acelerado a absorção de fósforo. Segundo estes autores, existe uma estreita relação do metabolismo do silício e fósforo.

Segundo Roy, citado por GURGEL (1979), a absorção de fósforo e silício pelas plantas cultivadas em solução nutritiva é função das espécies, sendo que a presença de silício e fósforo acelerou a absorção de P em alface e milho, inibindo-a em arroz e cana-de-açúcar. De modo geral, a presença de fósforo inibiu a absorção de silício pelas plantas, sendo essa inibição maior quando o fósforo e o silício foram

fornecidos às plantas na mesma proporção.

Conforme Gaussamn, citado por JONES & HANDRECK (1967), o aumento do fornecimento do fósforo produz aumentos sistemáticos na produção de matéria seca, acompanhado pela diminuição de concentração de sílica nas plantas.

Em solos havaianos, SHERMANN (1969) obteve resposta à aplicação de Si na forma de silicato de cálcio no rendimento de capim sudão. Notou-se neste trabalho que a resposta à aplicação de P pela cultura foi bem maior com a aplicação de silicato de cálcio do que com carbonato de cálcio; com a metade da aplicação de P nos vasos contendo silicato de cálcio, o rendimento de capim sudão foi bastante considerável em relação à produção dos vasos contendo carbonato, mesmo com maiores níveis de P.

Além do fosfato, o silicato e outros ânions como nitrato, bicarbonato, molibdato, selenito, etc., são capazes de coordenar-se com Fe e Al para formar compostos estáveis (HINGSTON et alii, 1968 e 1972). Estes ânions devem então, em princípio, serem capazes de competir com os ânions fosfatos pelos mesmos sítios de adsorção do solo.

Vários autores (RĀJAN, 1975; RĀJAN & PERROT, 1975; RĀJAN & WATKINSON, 1976; KAFKAFI, 1968; OBIHARA & RUSSEL, 1972; REIFENBERG & BUCKWOLD, 1954) observaram liberação de Si para a solução, com adsorção de P em argilas, aluminosilicatos e solos. Esta liberação de Si tem sido explicada em termos de deslocamento do Si das estruturas da argila e

aluminossilicatos pelo P (KAFKAFI, 1968; RĀJAN, 1975).

Segundo PLUCKNETT (1972), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade de fósforo no solo, diminui a fixação de fertilizantes fosfatados, corrige as deficiências de cálcio e magnésio e aumenta o pH do solo. Foi verificado por SCARSETH (1965) que quantidades crescentes de silicato de sódio adicionado em solos ácidos, aumentava o P na solução. Da mesma forma, ROY et alii (1971) observaram que a adição de doses crescentes de silicato de cálcio ("basic slag" da TVA) a solos havaianos diminui a adsorção de P. Estes efeitos tanto poderiam ser devidos a uma competição de silicato pelos sítios de adsorção como o aumento do pH, ou ainda devido a ambos os fatores.

Na Austrália, HINGSTON et alii (1968) constataram um decréscimo na adsorção de P pela goetita devido à adição de Si, fato que atribuíram à capacidade do Si em aumentar a carga negativa da superfície ao ser adsorvido. Estes dados indicam que a aplicação do Si deve aumentar a disponibilidade do P para as plantas pelo aumento da solubilidade do P adsorvido e decréscimo da capacidade de adsorção de P pelos solos.

Uma relação linear entre a quantidade de silicato adsorvido e o fosfato liberado foi mostrada por OBIHARA & RUSSEL (1972). Esta relação foi de 3 a 4 moles de silicato adsorvido por mol de fosfato liberado. Portanto, a correção da acidez do solo com silicato além de aumentar o pH, pode-

ria favorecer a disponibilidade de P para as plantas, devido a este efeito adicional de deslocamento do P adsorvido para a solução pelo silicato. Mas, segundo os dados de OBIHARA & RUSSEL (1972), esse efeito adicional parece ser significativo somente a pH acima de 7. Porém, RAUPACK & PIPPER (1959), em experimento de laboratório observaram um efeito depressivo do silicato de potássio na adsorção de P em um solo laterítico da Austrália, mesmo em pH abaixo de 6. Contudo o efeito maior foi também observado em pH acima de 7.

Nos solos, os íons silicatados e fosfatos competem pelos mesmos sítios de adsorção (McKEAGUE & CLINE, 1963; OBIHARA & RUSSEL, 1972). Aumentos do teor de P disponível no solo pela adição de escórias e outros componentes silicatos são citados por TAYLOR (1961) e SMITH & SANCHES (1980). Trabalhando com amostras de dois latossolos do Estado de Minas Gerais (LRD & LEdm), OLIVEIRA (1964) observou um deslocamento recíproco fósforo-silício, sendo o silício mais facilmente deslocável pelo fósforo do que o contrário, quando presentes em altas concentrações. Sob altas concentrações de fósforo, o silício pode ser trocado, inclusive aquele da estrutura da argila (RÂJAN, 1975; RÂJAN & FOX, 1975; ADAMS et alii, 1982).

A partir desses trabalhos, é de se prever que a aplicação de quantidades crescentes de fósforos em solos oxidícos desloquem cada vez mais silício para a solução de solo. Em se tratando de solos pobres de silício, esse deslo-

camento poderia afetar aspectos pedogenéticos, com consequências indesejáveis. BROWN & MAHLER (1987) observaram que o aumento de acidez na presença de fósforo aumentou a concentração de sílica em níveis elevados.

LIN & HUNG (1980) pesquisaram o efeito sinérgico entre Si e fósforo na nutrição mineral de arroz e conclui que há uma relação entre Si, e P semelhante a Ca e K. Foi constatado também por DONG et alii (1981) que o silicato e o zinco proporcionaram maior crescimento e aumentaram o nº de panículas e de grãos de arroz. Verificaram também que o silicato contribuiu para o aumento da disponibilidade de P no solo.

2.4. Termofosfato magnésiano e seu emprego na agricultura

O termofosfato magnésiano, conhecido no País como YOORIN (YO), da Fertilizantes Mitsui é obtido por via térmica, pelo aquecimento de rocha fosfatada à temperatura aproximada de 1.500°C , com silicato de magnésio, possibilitando aumentar a solubilidade de fósforo.

Os produtos fosfatados proveniente do tratamento térmico caracterizam-se por serem praticamente insolúveis em água, solúveis em ácido cítrico e em citrato de amônio mais água.

Estudando a eficiência agronômica de 11 fontes de fósforo, mais especificamente em solos sob vegetação de

cerrado, durante oito anos, GOEDERT & LOBATO (1984) concluíram que o termosfosfato magnesiano e hiperfosfato de gafsa foram similares ao Superfosfato Triplo como supridores de fósforo para as plantas, desde o primeiro cultivo, quando foram aplicados a lanço e incorporados ao solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos ensaios

O ensaio foi instalado e conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas "Campus" de Botucatu-UNESP, Estado de São Paulo.

3.2. Solo utilizado

Foi utilizada amostra superficial (0-20cm) de um sólo, classificado por CARVALHO et alii (1983), como pertencendo ao Grande Grupo Latossolo Vermelho Escuro-álico (LEa), classe textural franco argilo-arenoso, Unidade Patrulha, coletado da Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu-UNESP.

A terra coletada, foi secada ao ar e peneirada a uma malha granulométrica de 4 mm. Uma parte da terra foi destinada para sua caracterização. As análises físicas e químicas foram feitas com terra fina seca ao ar.

Na análise granulométrica seguiu-se o método de KILMER & ALEXANDER (1949). A dispersão foi feita com hexa metafosfato de sódio e agitação lenta por 10 minutos seguida de agitação em alta rotação, (12000 rpm) por 5 minutos. A fração areia foi separada utilizando-se de peneira e a fração argila por meio de pipeta. O silte foi determinado por diferença. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

As análises químicas iniciais foram executadas sendo: a) valor pH determinado em potenciômetro "MICRONAL B 374", com eletrodo de vidro, empregando-se a relação solo: solução 1:2,5 (pH em água); b) matéria orgânica, pelo método Walkley & Black e cálcio, magnésio e potássio trocáveis extraídos por acetato de amônio N pH 7,0 (JACKSON, 1964); c) fósforo solúvel em H_2SO_4 0,05 N e hidrogênio + alumínio extraídos por acetato de cálcio N pH 7,0 (CATANI, et alii, 1955). Foram determinados também os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 da fração argila a partir de ataque sulfúrico (CAMARGO et alii, 1986). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

3.3. Tratamentos

As fontes de fósforos utilizadas e quantidades aplicadas, bem como as composições percentuais, são as seguintes:

FONTE	P ₂ O ₅ Total	Ca	Mg	SiO ₂	Adubo g/vaso
YOORIN (YO)	18	20	% 09	25	10,5
YOOSIRIN (YS)	10	24	04	30	18,9
SUPERFOSFATO TRIPLO (ST)	42	18	-	-	4,5

YOOSIRIN (YS) é um produto termosfosfato com adição de silicato de cálcio (subproduto das usinas siderúrgicas) com alto teor de SiO₂ e de Ca.

As diferentes fontes foram repetidas por sete vezes, resultando nas seguintes épocas e dias de incubação.

1ª época - 90 dias - aplicação em 07/04/88

2ª época - 75 dias - aplicação em 22/04/88

3ª época - 60 dias - aplicação em 07/05/88

4ª época - 45 dias - aplicação em 22/05/88

5ª época - 30 dias - aplicação em 06/06/88

6ª época - 15 dias - aplicação em 21/06/88

7ª época - 0 dias - aplicação em 06/07/88

Tabela 1. Característica física e química do solo utilizado.

Areia	Silte	Argila	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	Ki	Kr
-----%									
50,1	14,9	35	3,68	2,76	5,00	0,02	12,96	0,48	0,39

pH H ₂ O	M.O.	P	(H + Al)	K	Ca	Mg	S	CTC	V
-----meq/100g de TFSA-----									
4,4	% 2,5	ppm 4	4,6	0,02	0,6	0,2	0,82	5,42	% 15

Após a coleta de amostras de solo para análise química (06/07/88) foram transplantadas, em cada vaso, mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) da variedade Brasil 201, com a finalidade de se verificar o desenvolvimento vegetativo em função do teor de fósforo disponível.

Durante todo o período do ensaio vegetativo, a cada quinze dias, foi fornecido solução nutritiva isenta de fósforo, cálcio e magnésio, seguindo bases preconizadas por WAUGH & FITTS (1966). A irrigação foi feita com água desmineralizada.

A colheita foi feita aos 46 dias após o transplante determinando-se o peso de matéria seca produzida em cada vaso. Em seguida as plantas foram lavadas com solução de detergente "Extran" 0,1% seguida de lavagem com água desmineralizada, secas em estufa a 60°C até atingir peso constante e, em continuidade, eram pesadas para obtenção do peso de matéria seca moídas em moinho tipo Wiley para posterior análise química dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

3.4. Ensaio em casa vegetação

Após a colocação de 5,0 litros de terra passada em peneira a malha de 4 mm em cada vaso, foram aplicadas, a cada quinze dias, quantidades equivalentes de 150 ppm de P das diferentes fontes, umedecidas à aproximadamente 70% do poder de embebição, mantendo-se incubação em ambiente escuro.

3.5. Delineamento experimental

O experimento constou da aplicação de 3 fontes de fósforo em 7 épocas diferentes, com 4 repetições, totalizando 84 parcelas distribuídas num delineamento inteiramente casualizado e, esquema fatorial (GOMES, 1984):

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Fontes (F)	2
Épocas (E)	6
Interação F x E	12
(Tratamentos)	(20)
Resíduo	63
TOTAL	83

3.6. Análise química do solo após a incubação

Após completado o período de incubação correspondente a cada tratamento, foram retiradas amostras de solo de cada vaso para análise química, conforme métodos descritos em 3.2. Foram também determinados os teores de fósforo extraído por resina trocadora (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

3.7. Análise química do material vegetal

As análises químicas do material vegetal foram feitas seguindo técnica descrita por MALAVOLTA (1964).

O material vegetal foi digerido com adição de ácido nítrico e ácido perclórico, sendo a solução mineral recolhida em balão de 50 ml donde se tomaram alíquotas para a determinação de fósforo por fotolorimetria e de potássio, cálcio e magnésio em espectrofotômetro de absorção atômica de (Perkin-Elmer, modelo 305-B).

3.8. Análise estatística

As análises estatísticas foram executadas no Polo Computacional do Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu-UNESP, utilizando-se de programas já estabelecidos. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e Teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fósforo solúvel, bases trocáveis e acidez do solo

Os efeitos da aplicação das 3 diferentes fontes de fosfato em diferentes épocas nas propriedades químicas foram avaliados em amostras coletadas no dia do transplante da alface e os resultados estão apresentados a seguir.

4.1.1. P solúvel em H_2SO_4 0,05 N e extraído por resina trocadora.

Os teores de fósforo solúvel em H_2SO_4 0,05N encontram-se na Tabela 2 e são apresentados graficamente na Figura 1. Verifica-se que houve diferença significativa entre as fontes, com exceção da época 4 (45 dias de incubação), sendo que YO e ST apresentaram médias estatisticamente iguais e ambas diferentes da fonte YS, que apresentou teores de fósforo disponível maiores que as outras fontes, demonstrando uma maior eficiência na diminuição da insolubilidade de fósforo pelos componentes do solo. Ainda com relação à Tabela 2 verifica-se que a época de incubação

influi apenas na fonte YS, com acentuada diferença entre as épocas 3 (60 dias) e 4 (45 dias). Essa acentuada reação na disponibilidade de fósforo numa determinada época de incubação, que pode ser melhor visualizada na Figura 1, também foi observada por NAKAGAWA et alii (1983) em trabalhos semelhantes utilizando-se termofosfato Yoorin (fonte YO), que no presente experimento não apresentou a mesma tendência. Isto, segundo aqueles autores, pode levar a supor que após uma fase de solubilização, o fósforo solúvel reagiria com componentes minerais, principalmente de ferro e alumínio deslocando o equilíbrio entre os fosfatos solúveis e não solúveis, e após um período mais longo de incubação ocorreria um estabelecimento de equilíbrio entre aquelas duas formas de fosfato. Um fato bastante interessante foi observado quando o fósforo foi extraído por resina trocadora onde o YS mostrou-se bastante solúvel no início do período de incubação (Tabela 3). Esses dados estão representados graficamente na Figura 3. Deste fato, presume-se que no início houve uma influência de outros íons que possa ter elevado o valor obtido. Com o passar do tempo, o produto provavelmente reagiu com as partículas do solo normalizando as reações. Observou-se que aos 60 dias também houve uma acentuada diferença, coincidindo com a extração feita pelo H_2SO_4 0,05 N quando a fonte utilizada foi o YS. Porém quando comparamos as duas formas de extrações de fósforo utilizando-se a fonte YS, observou-se que o H_2SO_4 0,05 N apresentou um comportamento que mais se assemelhou às curvas do fósforo absorvido pela planta e produção de matéria seca.

Tabela 2. Teores de fósforo solúvel em H_2SO_4 0,05 N, obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

P solúvel em H_2SO_4 0,05 N								
FON- TE(F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
-----P, ppm-----								
ST		66b	60b	60b	68	65b	68b	58b
YO		80b	64b	63b	58	66b	60b	58b
YS		118ABa	105Ba	114ABa	72C	134Aa	104Ba	106Ba
$\overline{mE}$		88A	77AB	79AB	66B	88A	77AB	74B

D.M.S. (Tukey) a 5% $\overline{mE}$ = 14 $\overline{mF}$ = 7 EF= 25 FE = 20

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	5,69*1
Fontes (F)	2	136,41*
Interação E x F	12	3,83*
Resíduo	63	
CV% =		14,6
Épocas dentro ST	6	0,52n.s ²
Épocas dentro YO	6	1,76n.s
Épocas dentro YS	6	10,81*

Fontes dentro época 1	2	68,41*
Fontes dentro época 2	2	83,25*
Fontes dentro época 3	2	86,89*
Fontes dentro época 4	2	81,39*
Fontes dentro época 5	2	75,80*
Fontes dentro época 6	2	78,98*
Fontes dentro época 7	2	110,12*

1. Significativo ao nível de 5%
2. não significativo

Tabela 3. Teores de fósforo extraído por resina trocadora, obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

P extraído por resina trocadora								
FON- TE(F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
-----P, ppm-----								
ST		170Ab	86B	94Bab	118Ba	104Bb	114Ba	97Bab
YO		170Ab	108B	71Bb	69Bb	87Bb	72Bb	80Bb
YS		232Aa	106BC	114BCa	98Cab	146Ba	132Bca	127Bca
$\bar{m}E$		191A	100B	93B	95B	112B	106B	101B

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 26$ $\bar{m}F = 13$ $EF = 45$ $FE = 36$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes da mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	32,38*1
Fontes (F)	2	29,14*
Interação E x F	12	2,64*
Resíduo	63	
CV% =		18,4
Épocas dentro ST	6	7,13*
Épocas dentro YO	6	11,93*
Épocas dentro YS	6	18,59*
Fontes dentro época 1	2	48,92*
Fontes dentro época 2	2	60,60*
Fontes dentro época 3	2	56,74*
Fontes dentro época 4	2	64,07*
Fontes dentro época 5	2	43,77*
Fontes dentro época 6	2	59,39*
Fontes dentro época 7	2	175,63*

1. Significado ao nível de 5%.

Figura 1. Teores de fósforo solúvel em H_2SO_4 0,05 N

Figura 2. Valores de pH do solo

Figura 3. Teores de fósforo extraído por resina trocadora

4.1.2. Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis

Os valores médios de cálcio e magnésio trocáveis estão representados respectivamente nas Tabelas 4 e 5. O resultado obtido para valores médios de Ca trocável é de 0,84 para ST, 1,59 para o YO e 2,38 para YS (valores em meq/100 g TFSA). Este resultado é coerente quando se observa a composição das fontes, onde o YS possui maior teor de Ca que o YO e este por sua vez possui maior teor que o ST.

O comportamento dos valores médios para o magnésio se assemelham aos obtidos para o cálcio, porém estes valores não seguiram a mesma tendência em relação aos teores do elemento nas fontes, pois o YO, neste caso, contém maior teor de magnésio em sua composição que o YS. Uma provável explicação para este fato pode ser a maior teor de silício no YS do que no YO, que aumentaria a disponibilidade do magnésio.

Com relação às três fontes de fósforo, observa-se que na Figura 4 também houve uma acentuada diferença nos teores de Ca + Mg aos 60 dias.

4.1.3. Acidez do solo

O pH elevou-se desde os primeiros dias de incubação, quando da aplicação do YS ao solo, acentuando-se mais aos 60 dias (tabela 6). Este fato é muito importante na

Tabela 4. Teores de cálcio trocável, obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para e fontes de fósforo.

Ca. Trocável								
FONTE(F)	ÉPOCA (E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
meq/100 TFSA								
ST		0,88c	0,90c	0,85c	0,80	0,78c	0,85c	0,85c
YO		1,10Db	1,72ABb	1,48Cb	1,62BCb	1,85Ab	1,60BCb	1,75ABb
YS		1,55Da	2,40BCa	2,35Ca	2,30Ca	2,90Aa	2,58Ba	2,60Ba
$\bar{m}E$		1,18E	1,68BC	1,56D	1,58CD	1,84A	1,68BC	1,73AB

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 0,12$ $\bar{m}F = 0,06$ $EF = 0,21$ $FE = 0,16$

1. Médias com letra maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letra minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	57,23* ¹
Fontes (F)	2	1.756,68*
Interação E x F	12	21,87*
Resíduo	63	
CV% =		6,0
Épocas dentro ST	6	0,77ns ²
Épocas dentro YO	6	25,84*
Épocas dentro YS	6	74,36*
Fontes dentro época 1	2	324,35*
Fontes dentro época 2	2	316,85*
Fontes dentro época 3	2	478,15*
Fontes dentro época 4	2	239,03*
Fontes dentro época 5	2	240,44*
Fontes dentro época 7	2	50,03*

1. significativo ao nível de 5%
2. não significativo.

Tabela 5. Teores de magnésio trocável, obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Mg trocável								
FONTES (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
-----meq/100ml TFSA-----								
ST		0,15c	0,12c	0,10c	0,15c	0,10c	0,12c	0,10c
YO		0,68Db	1,22Bb	1,02Cb	1,15BCb	1,50Ab	1,22Bb	1,28Bb
YS		0,92Da	1,72Ca	1,70Ca	1,75Ca	2,30Aa	1,98Ba	2,02Ba
$\bar{m}E$		0,58E	1,02CD	0,94D	1,02CD	1,30A	1,11BC	1,13B

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 0,10$ $\bar{m}F = 0,05$ $EF = 0,17$ $FE = 0,14$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	92,58* ¹
Fontes ()	2	3.045,59*
Interação E x F	12	32,11*
Resíduo	63	
CV =		7,9
Épocas dentro ST	6	0,32n.s. ²
Épocas dentro YO	6	40,75*
Épocas dentro YS	6	115,75*

Fontes dentro época 1	2	589,33*
Fontes dentro época 2	2	542,00*
Fontes dentro época 3	2	776,21*
Fontes dentro época 4	2	409,23*
Fontes dentro época 5	2	403,76*
Fontes dentro época 6	2	419,40*
Fontes dentro época 7	2	97,81*

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

Tabela 6. Valores de pH obtidos em amostras de terra após di-
ferentes tempos de incubação para 3 fontes de fós-
foro.

Valores de pH (H ₂ O)								
FONTES (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90) $\bar{m}F$
ST		4,20Dc	4,38CDc	4,38CDc	4,60ABc	4,47BCc	4,62ABc	4,72Ac 4,48c
YO		5,35BCb	5,50Bb	5,30Cb	5,42BCb	5,75Ab	5,72Ab	5,77Ab 5,55b
YS		5,90Ca	6,05BCa	5,90Ca	5,87Ca	6,32Aa	6,20ABa	6,15ABa 6,06a
$\bar{m}E$		5,15D	5,31B	5,19CD	5,30BC	5,52A	5,52A	5,55A

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 0,12$ $\bar{m}F = 0,06$ EF 0,20 FE = 0,16

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha di-
ferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna di-
ferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	35,91* ¹
Fontes (F)	2	1.980,87*
Interação E x F	12	4,73*
Resíduo	63	
	CV%	1,8
Épocas dentro ST	6	14,31*
Épocas dentro YO	6	17,66*
Épocas dentro YS	6	13,40*

Fontes dentro época 1	2	238,00*
Fontes dentro época 2	2	284,72*
Fontes dentro época 3	2	391,05*
Fontes dentro época 4	2	182,38*
Fontes dentro época 5	2	257,45*
Fontes dentro época 6	2	317,89*
Fontes dentro época 7	2	328,25*

1. Significativo ao nível de 5%.

utilização do mesmo na região dos cerrados, cujos solos normalmente apresentam acidez alta e teores baixos de fósforo, sendo necessária a prática da calagem e fosfatagem. Normalmente até a época da semeadura, o índice pluviométrico nessas localidades é baixo dificultando a solubilidade dos corretivos de acidez. Nessas condições do ensaio o YS atingiu praticamente o pH 6,0, apresentando um poder corretivo da acidez do solo, caracterizando uma redução na quantidade de calcário a ser aplicado e conseqüentemente uma diminuição no custo de produção.

O pequeno aumento no pH pela aplicação de ST contraria os dados obtidos por BRAGA & AMARAL (1971) que observaram um abaixamento do pH pela acidificação causada pela decomposição dupla, dando origem à formação do ácido fosfórico:

Esta alteração leva a presumir que houve uma diluição do adubo no solo (quantidade pequena de adubo em relação à terra). Alie-se ainda, que além de não proporcionar a elevação do pH (Figura 2), a fonte ST, pela própria característica e composição, não foi eficiente em aumentar os níveis de Ca e Mg (Figura 4 e Tabelas 4 e 5). Decorrente disto, não houve modificação na saturação de bases do solo (Figura 5), ao contrário ao que ocorreu com as outras duas fontes sendo que houve um incremento quando utilizou YO e YS demonstrando uma boa avaliação na fertilidade do solo (Tabela 7).

Tabela 7. Porcentagem de saturação de bases obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Porcentagem de saturação em bases (v%)								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
		----- % -----						
ST		15,0c	15,0c	13,2c	15,0c	14,2c	15,8c	16,0c
YO		24,0Db	40,5Bb	35,2Cb	40,2Bb	45,8Ab	43,5ABb	47,2Ab
YS		31,8Da	55,2Ca	53,0Ca	55,0Ca	68,8Aa	62,8Ba	63,2Ba
$\bar{m}E$		23,6E	36,9C	33,8D	36,8C	42,9A	40,7B	42,2AB

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 2,2$ $\bar{m}F = 1,2$ $EF = 3,9$ $FE = 3,1$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si,
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	161,05* ¹
Fontes (F)	2	3.594,37*
Interação E x F	12	45,14*
Resíduo	63	
	CV% =	4,9
Épocas dentro ST	6	1,10n.s. ²
Épocas dentro YO	6	76,26*
Épocas dentro YS	6	174,29*

Fontes dentro época 1	2	1.406,14*
Fontes dentro época 2	2	1.181,02*
Fontes dentro época 3	2	1.334,41*
Fontes dentro época 4	2	1.007,44*
Fontes dentro época 5	2	771,88*
Fontes dentro época 6	2	1.020,78*
Fontes dentro época 7	2	357,91*

1. Significativo ao nível de 5%.

2. Não significativo.

Figura 4. Teores de cálcio e magnésio no solo.

Figura 5. Porcentagem de saturação de bases no solo.

Tanto para pH como para teor de Ca + Mg e porcentagem de saturação de bases no solo, a fonte YS apresentou sempre índices estatisticamente superiores aos obtidos com a aplicação de Y0.

Houve diferenças na acidez potencial comparando-se as três fontes (Tabela 8) sendo que Y0 e YS apresentaram menores valores. Estas diferenças podem estar relacionadas aos materiais silicatados corretivos de acidez, sendo que o YS por possuir maior teor de silício, está demonstrando melhor efeito, chegando a diminuir até a metade do valor inicial como verificado nas épocas 3 (60 dias de incubação).

Como o pH é reflexo do conteúdo de bases de solo, é de se esperar que exista uma estreita correlação entre o pH e o grau de saturação de bases do solo (CATANI & GALLO, 1955). Em vista disto, para compreender as inter-relações que existem entre cátions trocáveis e pH em solos foi feita a correlação entre fontes (Figura 6). Constatou-se uma correlação linear dada aproximadamente a esta equação:

$$\text{pH} = 0,03176V + 4,288$$

confirmando os estudos por CATANI & GALLO (1955).

Tabela 8. Valores da acidez potencial obtidos em amostras de terra após diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Acidez Potencial								
FONTE (F)	ÉPOCA (E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
		-----meq H + Al/100g TFSA-----						
ST		5,88ABa	5,90ABa	6,20Aa	5,52BCa	5,48BCa	5,40BCa	5,10Ca
YO		5,65Aab	4,35BCb	4,65Bb	4,18BCDb	4,00Cdb	3,68DEb	3,38Eb
YS		5,38Ab	3,38Bc	3,62Bc	3,35Bc	2,38Cc	2,72Cc	2,72Cc
$\overline{mE}$		5,63A	4,54BC	4,82B	3,95D	3,93D	3,73D	3,73D

D.M.S. (Tukey) a 5% $\overline{mE} = 0,34$ $\overline{mF} = 0,18$ EF = 0,59 FE = 0,46

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	69,45* ¹
Fontes (F)	2	493,52*
Interação E x F	12	10,16*
Resíduo	63	
	CV% =	6,2
Épocas dentro ST	6	7,40*
Épocas dentro YO	6	29,48*
Épocas dentro YS	6	52,90*
Fontes dentro época 1	2	80,94*
Fontes dentro época 2	2	98,81*
Fontes dentro época 3	2	129,19*
Fontes dentro época 4	2	64,78*
Fontes dentro época 5	2	90,30*
Fontes dentro época 6	2	87,12*
Fontes dentro época 7	2	3,37*

1. Significativo ao nível de 5%.

Figura 6. Relação entre porcentagem de saturação de bases e pH para todos os tratamentos.

4.2. Produção de matéria seca, absorção de P e bases trocáveis

4.2.1. Produção de matéria seca

A maior produção de matéria seca, quando se

utilizou a fonte YS pode ser explicado pela maior quantidade de fósforo extraído (Tabela 2 e Figura 1) além dos fatores relacionados à elevação do pH. Entretanto embora não houvesse diferença entre as fontes YO e ST quanto à quantidade de fósforo disponível H_2SO_4 0,05 N (Tabela 2 e Figura 1), a produção de matéria seca quando se utilizou a fonte YO foi estatisticamente superior à obtida com ST (Tabela 9 e Figura 7), sugerindo que essas diferenças podem ser atribuídas aos fatores relacionados à reação do solo. Dentre estes fatores pode-se considerar o efeito corretivo da acidez do solo promovida pela aplicação tanto de YS como de YO (Tabela 6 e Figura 2) fontes que apresentam silicatos nas suas composições, mantendo condições de reação do solo mais adequados ao desenvolvimento da planta, enquanto os valores de pH no solo com a aplicação de ST se manteve num nível bastante inferior. Este efeito de mudança de pH concorda com os dados obtidos por NAKAGAWA et alii (1983). SILVA, et alii (1977), estudando por seis anos agrícolas sucessivos com superfosfatos e termofosfatos concorreram para estabilizar o índice de pH e elevar o nível de magnésio no solo, além do teor do próprio fósforo. Um outro fator pode estar associado ao maior desenvolvimento vegetativo das fontes com silicato em relação ao ST, vem a ser o provável aumento na eficiência do aproveitamento de fósforo pela planta na presença de Si. De acordo com HINGSTON et alii, 1968 e 1972, a insolubilização de fósforo é reduzida na presença de Si, em razão da competição entre

os ânions silicato e fosfato pelos sítios de adsorção do solo. Resultados semelhantes foram obtidos também por OBIHARA & RUSSEL (1972) & RAUPACH & PIPER (1959). Para este experimento o teor de sílica do YS aplicado foi de duas vezes maior em relação ao YO.

4.2.2. Absorção de P

O comportamento do fósforo foi analisada em termos de valores percentuais e quantidade de P(mg/vaso) cujos resultados encontram-se nas Tabelas 10 e 11, respectivamente. O fósforo foi melhor aproveitado pela planta quando a fonte utilizada foi o YS, com 31 mg P/vaso contra 18 mg P/vaso do YO em 4 mg P/vaso do ST, com diferenças significativas entre eles. Porém, este resultado obtido pelo YS está abaixo dos valores encontrados por Fernandes et alii (1971) citado por MALAVOLTA et alii (1974) que foi de 46,9 mg P/vaso, para o mesmo período de colheita. GARCIA et alii (1988) também encontraram valores maiores do que YS apresentou neste ensaio, com aproximadamente 70 mg P/vaso para um período de 62 dias de idade. Avaliando-se as diferentes épocas em que o YS foi aplicado, nota-se que o fósforo foi melhor aproveitado aos 60 dias de incubação. Os valores percentuais de P na matéria seca confirmam os melhores resultados obtidos pelo YS, quando foi analisado em termos de valores totais por vaso. Porém este resultado também está abaixo do valor encontrado por

Figura 7. Valores médios de peso de matéria seca total (g/vaso) dos tratamentos -EF= épocas dentro de fontes, FE = Fontes dentro de épocas, mE = médias de épocas mF = médias de fontes.

Tabela 9. Peso de matéria seca total obtidas de plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Peso da matéria seca total								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
		g/vaso						
ST		2,9	2,7	2,8	3,0	3,8	3,0	2,5
YO		7,8	10,9	6,8	8,4	9,9	7,6	9,0
YS		9,1	8,4	8,6	10,0	13,0	10,2	11,5
$\bar{m}E$		6,6AB	7,3AB	6,1B	7,2AB	8,9A	6,9AB	7,6AB

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 2,5$ $\bar{m}F = 1,3$ $EF = 4,4$ $FE = 3,5$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna . diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	2,25* ¹
Fontes (F)	2	96,18*
Interação E x F	12	1,23 n.s. ²
Resíduo	63	

1. Significativo ao nível de 5%.

2. Não significativo.

Tabela 10. Porcentagem de fósforo na matéria seca obtidas de plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

P na matéria seca								
ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)	$\bar{m}F$
FONTE (F)	mg de P/vaso							
ST	0,11	0,12	0,11	0,14	0,12	0,14	0,11	0,12c
YO	0,20	0,21	0,19	0,22	0,22	0,21	0,20	0,21b
YS	0,26	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,32	0,30a
$\bar{m}E$	0,19	0,21	0,20	0,22	0,22	0,22	0,21	

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m} = 0,04$ $\bar{m}F = 0,02$ $EF = 0,07$ $FE = 0,05$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	1,84 n.s. ²
Fontes (F)	2	244,31* ¹
Interação E x F	12	0,60 n.s.
Resíduo	63	
CV% =		14,5

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

Tabela 11. Quantidade de fósforo absorvido pelas plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

P absorvido								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
-----mg de P/vaso-----								
ST		3	3	3	4	4	4	3
YO		16	23	13	20	21	16	18
YS		24	26	25	30	41	30	37
$\bar{m}E$		14B	18AB	14B	18AB	22A	17AB	19AB

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 8$ $\bar{m}F = 4$ EF = 14 FE = 11

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	2,58* ¹
Fontes (F)	2	123,26*
Interação E x F	12	1,40 n.s. ²
Resíduo	63	
CV% =		36,8

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

GARCIA et alii (1988) que foi de 0,8 a 0,92. Estes resultados podem estar relacionados ao maior valor de pH alcançado com a aplicação de YS, que foram sempre maiores que as outras fontes, independentes de época de incubação, conforme mostra a Tabela 6 e Figura 2.

4.2.3. Absorção de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}

Os valores percentuais e os valores médios de quantidade de cálcio absorvida pela planta encontrados na matéria seca estão contidos nas Tabelas 12 e 13 respectivamente. O YS novamente apresentou melhores resultados, sendo que aos 60 dias houve maior absorção do elemento, porém em termos percentuais não houve diferenças significativas entre os períodos de incubação. Com relação à quantidade de Mg absorvida (mg de Mg/vaso) encontrados neste ensaio (Tabela 14), mostram serem superiores aos valores encontrados por GARCIA et alii (1988) e Fernandes et alii (1974), citado por MALAVOLTA et alii (1974) quando a fonte foi o YS. No caso do Y0, os valores encontrados neste ensaio são semelhantes aos citados por estes mesmos autores. Interessante notar o fato de que o tratamento com YS apresentou maior quantidade de Mg absorvido pela cultura, uma vez que o Y0 contém maior porcentagem deste elemento em sua composição. Uma provável explicação para este fato talvez se deva ao maior teor de Si em sua composição, já argumentado anteriormente. De modo semelhante

Tabela 12. Porcentagem de cálcio na matéria seca obtidas de plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Ca na matéria seca									
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)	mF
		%							
ST		0,54	0,61	0,49	0,50b	0,44b	0,50b	0,51b	0,51c
YO		0,56B	0,61AB	0,68AB	0,84Aa	0,59ABb	0,52Bb	0,59Ab	0,63b
YS		0,62B	0,76AB	0,69AB	0,76ABa	0,95Aa	0,80ABa	0,85ABa	0,78a
mE		0,58	0,66	0,62	0,70	0,66	0,61	0,65	

D.M.S. (Tukey) a 5% mE = -- mF = 0,08 EF = 0,27 FE = 0,21

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	1,29 n.s. ²
Fontes (F)	2	30,78*1
Interação E x F	12	2,46*
Resíduo	63	
	CV% =	19,8
Épocas dentro ST	6	0,78 n.s.
Épocas dentro YO	6	2,69*
Épocas dentro YS	6	2,81*
Fontes dentro época 1	2	7,81*
Fontes dentro época 2	2	6,68*
Fontes dentro época 3	2	17,50*
Fontes dentro época 4	2	7,81*
Fontes dentro época 5	2	3,12 n.s.
Fontes dentro época 6	2	1,88 n.s.
Fontes dentro época 7	2	0,50 n.s.

1. Significativo ao nível de 5%.

2. Não significativo.

Tabela 13. Quantidade de cálcio absorvido pelas plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Ca absorvido								
ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)	$\overline{mF}$
FONTE (F)	-----mg de Ca/vaso-----							
ST	16b	18b	14b	16b	16c	15b	12c	15c
YO	45ab	68a	46ab	74a	58b	39b	54b	55b
YS	57Ca	64BCa	59BCa	78BCa	123Aa	82ABCa	100ABa	80a
$\overline{mE}$	39B	50 AB	40B	56AB	66A	45AB	55AB	

D.M.S. (Tukey) a 5% $\overline{mE}$ = 24 $\overline{mF}$ = 12 EF = 42 FE = 33

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	2,97* ¹
Fontes (F)	2	80,28*
Interação E x F	12	2,49*
Resíduo	63	
CV% =		38,7
Épocas dentro ST	6	0,04 n.s. ²
Épocas dentro YO	6	1,73 n.s.
Épocas dentro YS	6	6,18*
Fontes dentro época 1	2	20,45*
Fontes dentro época 2	2	12,24*
Fontes dentro época 3	2	30,79
Fontes dentro época 4	2	12,93
Fontes dentro época 5	2	5,78*
Fontes dentro época 6	2	8,20*
Fontes dentro época 7	2	4,80*

1. Significativo ao nível de 5%.
2. não significativo.

Tabela 14. Quantidade de magnésio absorvido pelas plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Mg absorvido								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90) mF
-----mg Mg vaso -----								
ST		8b	9b	7b	9b	11b	9b	7c 9c
YO		33a	44a	30a	50a	45b	30b	38b 39b
YS		40Ca	44BCa	46BCa	49BCa	85Aa	61ABCa	70ABa 56a
mE		27B	32AB	27B	36AB	47A	33AB	38AB

D.M.S. (Tukey) a 5% mE = 16 mF = 8 EF = 28 FE = 22

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente netre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	3,42*1
Fontes (F)	2	97,03*
Interação E x F	12	2,37*
Resíduo	63	.
CV% =		37,4*
Épocas dentro ST	6	0,05 n.s. ²
Épocas dentro YO	6	1,64 n.s. ²
Épocas dentro YS	6	6,48*
Fontes dentro época 1	2	23,47*
Fontes dentro época 2	2	16,30*
Fontes dentro época 3	2	32,79*
Fontes dentro época 4	2	13,40*
Fontes dentro época 5	2	9,20*
Fontes dentro época 6	2	9,65*
Fontes dentro época 7	2	6,45*

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo

ao comportamento observado para cálcio, o magnésio também apresentou maior quantidade absorvida aos 60 dias (Tabela 14), porém percentualmente não apresentando diferenças estatísticas entre as diferentes épocas (Tabela 15).

No caso do potássio, tanto na porcentagem como na quantidade absorvida da matéria seca (Tabela 16 e 17, respectivamente) o YS e o YO apresentaram resultados melhores que o ST. Convém lembrar que o fornecimento de potássio foi igual para todas as fontes, no entanto, este melhor aproveitamento do elemento pode ser atribuída à mudança do pH influenciado pelos silicatos.

Tabela 15. Porcentagem de magnésio na matéria seca obtida de plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

Mg na matéria seca (g de Mg/100 g m.s.)								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90) $\bar{m}F$
ST		0,29b	0,32b	0,24b	0,28b	0,29b	0,30b	0,29c
YO		0,42Ba	0,44Ba	0,58Ba	0,58Aa	0,46ABb	0,40Bb	0,44b
YS		0,44Ca	0,52ABCa	0,53BCa	0,48BCa	0,66Aa	0,58ABCa	0,60ABa
$\bar{m}F$		0,38	0,41	0,41	0,45	0,47	0,42	0,44

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E$ - $\bar{m}F$ = 0,04 EF = 0,15 FE = 0,12

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	2,13 n.s. ²
Fontes (F)	2	98,60* ¹
Interação E x F	12	3,13*
Resíduo	63	
CV% =		16,2
Épocas dentro ST	6	0,46 n.s.
Épocas dentro YO	6	3,42*
Épocas dentro YS	6	4,52*
Fontes dentro época 1	2	20,08*
Fontes dentro época 2	2	17,97*
Fontes dentro época 3	2	27,48*
Fontes dentro época 4	2	19,03*
Fontes dentro época 5	2	19,02*
Fontes dentro época 6	2	8,34*
Fontes dentro época 7	2	5,66*

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

Tabela 16. Porcentagem de potássio na matéria seca obtida de plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação por 3 fontes de fósforo.

K na matéria seca									
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)	$\bar{m}F$
ST		2,05	1,96	1,71c	1,79b	1,86b	1,92	1,61b	1,84b
YO		2,13	2,19BC	3,50Aa	3,08ABa	2,66ABCa	2,04C	2,09Cab	2,53a
YS		2,09	2,21	2,68b	2,28b	2,78a	2,51	2,70a	2,46a
$\bar{m}E$		2,09	2,12	2,63	3,38	2,13	2,16	2,13	

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 0,56$ $\bar{m}F = 0,29$ $EF = 0,98$ $FE = 0,77$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO		GL	F
Épocas (E)		6	2,48* ¹
Fontes (F)		2	19,45*
Interação E x F		12	2,87*
Resíduo		63	
		CV% =	19,9
Épocas dentro ST		6	0,44 n.s. ²
Épocas dentro YO		6	6,36*
Épocas dentro YS		6	0,12 n.s.
Fontes dentro época 1		2	5,73*
Fontes dentro época 2		2	1,87 n.s.
Fontes dentro época 3		2	4,86*
Fontes dentro época 4		2	8,21*
Fontes dentro época 5		2	15,55*
Fontes dentro época 6		2	0,36 n.s.
Fontes dentro época 7		2	0,29 n.s.

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

Tabela 17. Quantidade de potássio absorvido pelas plantas cultivadas em diferentes tempos de incubação para 3 fontes de fósforo.

K absorvido								
FONTE (F)	ÉPOCA(E) DIAS	7(0)	6(15)	5(30)	4(45)	3(60)	2(75)	1(90)
----- % de k/vaso -----								
ST		60	53	48	54	70	55	40
YO		166	237	231	250	256	169	195
YS		192	188	225	228	370	257	309
$\bar{m}$		137B	159AB	168AB	178AB	232A	160AB	182AB

D.M.S. (Tukey) a 5% $\bar{m}E = 80$ $\bar{m}F = 41$ $EF = 138$ $FE = 109$

1. Médias com letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si.
2. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	F
Épocas (E)	6	2,47* ¹
Fontes (F)	2	77,37*
Interação E x F	12	1,62 n.s. ²
Resíduo	63	
CV% =		39,9

1. Significativo ao nível de 5%.
2. Não significativo.

5. CONCLUSÕES

Para as condições em que este trabalho de pesquisa foi realizado e com base nos dados obtidos, pode-se concluir que:

- A fonte Yoosirin apresentou teores de fósforo disponível no solo maiores que o Yoorin e o Superfosfato Triplo, sendo que estas apresentaram teores estatisticamente iguais.

- A aplicação das três fontes proporcionou valores de pH diferentes, no solo independente da época de incubação, sendo o Yoosirin maior que o Yoorin e esta maior que o Superfosfato Triplo.

- As produções de matéria seca obtidas com a aplicação das três fontes no cômputo geral, diferiram entre si, sendo que o Yoosirin proporcionou maior produção que o Yoorin e esta suplantou o Superfosfato Triplo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

ADAMS, J.P.; ADAMS, F.; ODOM, J.W. Interaction of phosphorus rate and soil pH on soybean yield and soil solution composition of two phosphorus-sufficient ultisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 323-328, 1982.

AYRES, A. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Sci.*, 101: 216-217, 1966.

BAIR, R.A. Leaf silicon in sugarcane, field corn and St. Augustine grass grown on some Florida soils. *Proceed. Soil Crop. Sci. Soc. Fla.*, 26: 64-70, 1966.

BRAGA, J.M. & AMARAL, F.A.L. Efeito de fontes de fósforo na variação do pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio em um solo de Viçosa. *Bragantia*, Campinas, 18 (98): 326-335, 1971.

BROWN, T.H.; MAHLER, R.L. Effects of phosphorus and acidity on levels of silica extrated from a Palouse silt loan. Soil Sci. Soc. of Ameri., Moscow, 51(3) p.671-677, 1987.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986, 94p. (Boletim Técnico, 106).

CASTRO, D.M. Mineralogia de suelos. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. v.11, 828p., 1975.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R; PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental "Presidente Médici". Botucatu, Fac. de Ciências Agronômicas, 1983, 95p. (Boletim Científico, 1).

CATANI, R.A. & GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre pH e a saturação em bases. Revista de Agricultura. 30: 49-60, 1955.

CATANI, R.A.; GALLO, R.J.; GARGANTINI, H. Amostragem de solos, métodos de análise, interpretação e indicação gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1955. (Boletim Técnico 69).

CLEMENTS, H.F. Effects of silicate on the growth and leaf freckle of sugarcane in Hawaii. Proc. Int. **Sugar Cane Tech.**, Puerto Rico, **12**: 197-215, 1967.

DEWAN, M. & HUNTER, A.S. Absorption of phosphorus by soybean and sudan grass. II. Effect of silicates. **Soil Sci.**, **68**: 479-482, 1949.

DONG, C.T.; LIU, Z.G.; ZON, B.L.; ZHU, C.; ZHANG, C.L.; LIANG, W. Effect of zinc and silicon on increasing rice yield **Liaoning Agricultural Science**, China, nº 4, 1981, p.13-18.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Relatório, técnico anual**, Planaltina, DF. 1978-1979, 170p.

ESTEBAN, E.; ROBLES, J.; GALLARDO-LARA, F. Silicon concentration effect on plant nutrition. In: PROCEEDINGS, VI th, INTERNATIONAL COLLOQUIUM FOR THE OPTIMIZATION OF PLANT NUTRITION, MONTPELIER, V.1, p.181-187, 1984.

GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A.R. Nutrição mineral de hortaliças: concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) Cv. Brasil 48 e Clause's Aurelia. In: HAAG, H.P. e MINAMI, K. Nutrição mineral em hortaliças, Campinas, Fundação Cargill, 1988, p.123-151.

GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrados. *R. bras. Ci. Solo*, 8: 97-102, 1984.

GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária, Piracicaba, POTAFÓS, 1984, 106p.

GURGEL, M.N.A. Efeitos do silicato e cálcio e a sua interação como o fósforo no estado nutricional, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), Piracicaba, ESALQ/USP. 1979, 62p. (Mestrado).

HALAIS; P. & PARISHI, D.H. Silica and Manganese content of cane sheaths in relation to soil and nutrition. *Mauritius Sugar. Ind. Res. Int. Annu. Rept.* (1963): 74-76, 1963.

HINGSTON, F.J.; ATKINSON, R.J.; POSNER, A.M. ; QUIRK, J.P. Specific adsorption of the anions on goethite. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9^o *Proceedings*. Baltimore Soil Science. v.1, p.669-678. 1968.

HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.*, Oxford, 23(2): 177-192. 1972.

HUSZ, G.S. **Sugar cane, cultivation and fertilization.** University in Hobenbein, West Germany, Ruhr-Stickstoff, 1972.
116p.

JACKSON, M.L. **Análises químico de suelos.** Ediciones Omega, Barcelona, 1964, 662p.

✓ JONES, L.H.P. & HANDRECK, K.A. **Silica in soils, plants and animals.** **Advances in Agronomy**, New York, 1967, p.107-149.

KAFKAFI, V. **Hydrogen consumption and silica release during initial stages of phosphate adsorption on kaolinite at a constant pH.** **Isr. J. Chem.**, Pehovot, 6: 367-373, 1968.

KHAN, D.H. & ROY, A.C. **Growth, P uptake and fibre cell dimensions of jute plant as affected by silicate treatment.** **Plant and Soil**, 20: 331-336, 1964.

KILMER, V.L. & L.T. ALEXANDER, **Method of making mechanical analysis of soil.** **Soil Sci.**, 68(1): 15-26.

LEWIN, J. & REIMANN, E.F. **Silicon and plant growth.** **Ann. Rev. Plant Physiol**, 20: 289-304, 1969.

LIN, H.C.; HUNG, J.J. Antagonistic and synergistic effect between Si and P in the nutrition of rice plant. Soil and Fertilizer in Taiwan. Taipei, 1980, p.1-11.

MALAVOLTA, E.; . **Análise química dos teores totais.** Curso Internacional de Diagnose Foliar, Piracicaba, 36p. 1964.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; DE MELLO, F.A.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Ed. Pioneira, 1974, 752p.

MCKEAGUE, J.A. & CLINE, M.G. Silica in Soils. **Adv. Agron.**, 15: 339-389, 1963.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** 3 ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655p.

MIYAKE, Y & TAKAHASHI. Effect of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. **Soil Sci. and Plant Nutr.**, Japan, 29(4) p. 463-471, 1983.

NAKAGAWA, J.; BULL, L.T.; BOARETTO, A.E.; FELIPE, L.A. Avaliação do efeito do termofosfato na fertilidade de dois solos através do uso de métodos químico e biológico. **R. Agric.**, Piracicaba, 58(3): 125-139, 1983.

OBIHARA, C.H. & RUSSEL, E.W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. J. of Soil Sci., 23: 105-107, 1972.

OKUDA, A. & TAKAHASHI. The role of silicon. In: HOPKINS, J. ed. The mineral nutrition of rice plant. Baltimore, p. 123-144, 1964.

OLIVEIRA, M.G.A. Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em latossolos do Triângulo Mineiro. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1984. 68p. (Tese M.S.).

PARRY, R.W.; HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Some recent advances in studies of silica in higher plants. Phyl. Trans. of the Royal Soci. of London, Bangor, 304p. 537-549, 1984.

PLUCKNETT, D.L. The use soluble silicate in Hawaiian agriculture. Univ. of Queensland Papers, 1(6): 203-223, 1972.

RAIJ, B. van & CAMARGO, O.A. de. Silica solúvel em solos. Bragantia, Campinas, 32(11): 223-231, 1973.

RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983, 31p. (Bol. Técnico, 81).

RAJAN, S.S.S. Phosphate adsorption and the displacement of structural silicon in an allophane clay. *J. of Soil Sci.* 26: 250-256, 1975.

RAJAN, S.S.S. & FOX, R.L. Phosphate adsorption by soils. II. Reaction in tropical acid soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39: 846-851, 1975.

RAJAN, S.S.S. & PERROTT, K.W. Phosphate adsorption by synthetic amorphous aluminosilicates. *J. Soil Sci.*, Oxford, 26(3): 257-226, 1985.

RAJAN, S.S.S. & WATKINSON, P.H. Adsorption of selenite and phosphate on an allophane clay. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* Madison, 40: 51-54, 1976.

RALEIGH, G.J. Some effects of various silicates, lime and gypsum on growth of tomato plants in Western and Eastern soils of low levels of phosphorus nutrition. *Cornell Agric. Exp. Sta. Memo.*, 326: p.78, 1953.

RAUPACH, & PIPER, C.S. Interactions of silicate and phosphate in a lateritic soil. *Aust. J. Agric. Res.*, Melbourne, 10: 813-831, 1959.

REIFENBERG, A. & BUCKWOLD, S.J. The release of silica from soils by the orthophosphate anions. J. Soil Sci., Oxford, 5(1): 106-115, 1954.

RODRIGUES, T.E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos dos cerrados no Distrito Federal. 101 f. Tese. (Mestr. Agron.-solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1977.

ROTHBUHR, & SCOTT, F. A study of the uptake of silicon and phosphorus by wheat plants with radio chemical methods. Biochem. J., 65: 241-245, 1957.

ROY, A.C.; ALI, M.Y.; FOX, R.L. & SILVA, J.A. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Havalian Latosols. In: Symposium on soil fertility evaluation, Honolulu, (proceedings), New Delhi, India, 1971, 756-765.

SCARSETH, G.D. The mechanism of phosphate retention by natural alumino silicate colloids. J. Amer. Soc., 27: 596-616, 1935.

SHERMAN, G.D. Crop growth response applications of calcium silicate to tropical soils in Hawaiian Islands. Agricult. Digest., 18: 11-19, 1969.

SILVA, N.M.; FERRAZ, C.A.M.; CAMPANA, M.P. Competição entre superfosfato simples e termofosfatos, em ensaio permanente com o algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 1(1): 34-38, 1977.

SMITH, T.J. & SNACHEZ, P.A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorptions and ion retention. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 44: 500-505, 1980.

TAYLOR, A.W. Review of the effects of siliceous dressings on the nutrient status of soils. *Agric. Food. Chem.*, 9: 163-165, 1961.

VOLKWEISS, S.J. & RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos, In: SIMPÓSIO SOBRE OS CERRADOS, 4º, Brasília, 21-25 de junho. *Anais....* Ed. Itatiaia, 1976, 16p.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y. & KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 8(1): 30-35, 1962.

WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. Estudos para interpretação de análise de solo: de laboratório e em vasos. Raleigh, *International Soil Testing*. 1966, 33p. (Boletim Técnico nº 3).