

UNIOESTE
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

JUCENEI FERNANDO FRANDOLOSO

**EFICIÊNCIA DE ADUBOS FOSFATADOS ASSOCIADOS A
ENXOFRE ELEMENTAR NA CULTURA DO MILHO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
SETEMBRO/2006

JUCENEI FERNANDO FRANDOLOSO

**EFICIÊNCIA DE ADUBOS FOSFATADOS ASSOCIADOS A
ENXOFRE ELEMENTAR NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Nível Mestrado, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Prof^a . Dr^a. Maria do Carmo
Lana

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
SETEMBRO/2006

DEDICATÓRIA

DEDICO

A Minha Admirável Mãe Jandira

A Iara Adriane Dahmer

A Minha Pequena Rafaela

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus;

Agradeço também a minha família pelo estímulo de estar sempre buscando mais conhecimento e pelo apoio dado ao longo não só de minha vida acadêmica, mas de toda a minha vida;

Agradeço ainda a Prof^a. Dra. Maria do Carmo Lana, que me orientou nesta pesquisa, pela sua atenção, conhecimentos a mim repassados e pelo incentivo de realizar um trabalho cada vez melhor;

Faço também meu agradecimento especial aos meus colegas acadêmicos do curso de Agronomia Silvano Fontaniva e Rodrigo Vianezi Czycza, pelo auxílio prestado durante o desenvolvimento deste trabalho, e também ao acadêmico e agricultor Fabio Patussi por ceder a área para o desenvolvimento deste trabalho;

Agradeço também aos membros da banca examinadora, que além de apontar as mudanças necessárias para um trabalho mais completo, realizaram críticas com certeza construtivas;

Por fim agradeço a Instituição em que desenvolvi este mestrado – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, ao Prof. Dr. Ubirajara Conte Malavasi - Coordenador do Mestrado, a Secretária do Curso Srta. Noili Batschke, as empresas que forneceram material para a pesquisa e demais pessoas que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 IMPORTÂNCIA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CULTURA DO MILHO ...	12
2.2 FOSFATOS NATURAIS	14
2.3 FÓSFORO NO SOLO	16
2.3.1 Adsorção de fósforo no solo.....	17
2.3.2 Adsorção por óxidos de Ferro e Alumínio	18
2.3.3 Adsorção por Aluminossilicatos.....	19
2.3.4 Adsorção por Matéria Orgânica.....	19
2.3.5 Precipitação de Fósforo nos Solos	19
2.4 ENXOFRE NO SOLO	20
2.4.1 Transformações do Enxofre no Solo	21
2.4.2 Oxidação do Enxofre	22
2.4.2.1 Oxidação Abiótica	22
2.4.2.2 Oxidação Biótica	23
2.4.3 Adsorção de Sulfato no Solo	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 ADUBAÇÃO	26
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	26
3.3 AVALIAÇÃO E COLETAS DE DADOS	27
3.3.1 Amostragem e análises químicas de tecido vegetal.....	27
3.3.2 Amostragem e análises químicas do solo	27
3.3.3 Avaliação dos componentes de produção.....	28
3.3.4 Precipitação.....	28
3.3.5 Índices de Eficiência.....	29

3.3.6 Análises estatísticas	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5 CONCLUSÕES	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teor de P no tecido foliar na cultura do milho em função das doses de fósforo aplicadas no solo.	32
Figura 2 - Teor de S no tecido foliar na cultura do milho em função da aplicação de FNR (2a), SFT (2b) com adição ou não de S elementar.	35
Figura 3 - Teor de P no grão de milho em função das doses de fósforo aplicadas no solo.	36
Figura 4 - Comprimento das espigas de milho em função das doses de fósforo aplicados no solo.	37
Figura 5 - Número de fileiras por espiga (a) e número de grãos por espiga (b) de milho em função das fontes e doses de fósforo.	38
Figura 6 - Produtividade de milho em função de fontes e doses de fósforo (a) e em função da ausência e presença de enxofre elementar, e doses de fósforo (b), para uma população de 60.000 plantas por ha.	41
Figura 7 - Teor de P no solo extraído por resina de troca aniônica na profundidade de 0-10cm em função das doses de fósforo.....	46
Figura 8 - Teores médios de P no solo extraído por Mehlich-I na profundidade de 0-10 cm em função da aplicação de FNR e adição ou não de S (a) e aplicação de SFT e adição ou não de S (b).....	48
Figura 9 - Teor de P na profundidade de 10 – 20cm extraído por Mehlich-I em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.....	51
Figura 10 - Teor de enxofre do solo, em função do uso de FNR na presença e ausência de enxofre (a) e em função do uso de SFT e presença e ausência de enxofre (b) na camada de 0-10cm.	52
Figura 11 - Teor de K no solo, na profundidade de 0-10cm em função das doses de fósforo (a) e na profundidade de 10 – 20cm (b) em função das doses e fontes de fósforo.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados das análises químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho eutrófico na camada de 0-20 cm, antes do plantio	25
Tabela 2 – Precipitação ocorrida durante o período do experimento	28
Tabela 3 – Resumo da análise de variância e comparação de médias para os componentes de produção, teores de P foliar, S foliar, K foliar, P grão e teor de proteína para a cultura do milho em função da aplicação de fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato triplo (SFT), e presença e ausência de enxofre (S)	31
Tabela 4 - Teor de P no tecido foliar, incrementos de produção e fator de utilização do P, considerando as doses de P_2O_5 utilizadas para cada fonte	33
Tabela 5 – Eficiência da adubação fosfatada para o FNR e SFT na presença e ausência de enxofre elementar	42
Tabela 6 – Índice de eficiência agrônômica (IEA) e equivalente em SFT (Eq STF), para a produção de grãos de milho em função de doses de P_2O_5 aplicadas ao solo na presença e ausência de enxofre.	43
Tabela 7 – Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de P e K no solo extraídos por Mehlich – I nas profundidades de 0-10cm (P10 e K10) e 10-20cm (P20 e K20), P no solo extraído por resina de troca aniônica na profundidade de 0-10cm (P10 res), teor de S disponível nas profundidades de 0 -10cm (S10) e 10 – 20cm (S20), e o pH na profundidade de 0-10cm, após a colheita	44
Tabela 8- Teor de P no solo extraídos por Mehlich–I nas camadas de 0-10cm e 10-20cm em amostras coletadas na linha de plantio, em função das fontes de fósforo aplicadas no solo e adição ou não de S elementar	50

RESUMO

Com o objetivo de comparar a eficiência do fosfato natural reativo (FNR) e do superfosfato triplo (SFT) associado ao enxofre elementar em pó, aplicados no sulco de plantio na cultura do milho e avaliar a influência do enxofre elementar na solubilidade do FNR instalou-se um experimento a campo no município de Toledo-PR em um Latossolo Vermelho eutroférico. O delineamento experimental consistiu de blocos inteiramente casualizados, com duas fontes de fósforo em quatro níveis de fertilizantes fosfatados (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e 2 níveis de enxofre (0 e 30 kg ha⁻¹ de enxofre elementar), em quatro repetições. No início do florescimento da cultura foram efetuadas coletas de tecido vegetal para determinação dos teores de fósforo e enxofre no tecido foliar. No final do cultivo foi avaliada a altura de inserção e tamanho de espiga, a massa de grãos por espiga e de 1000 grãos, número de fileiras e de grãos por espiga e a produtividade de cada parcela. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm para determinação dos teores de fósforo, enxofre, potássio e pH. Foram avaliados o índice de eficiência agronômica (IEA), o equivalente em superfosfato triplo (EqSFT), o fator de utilização do P e a eficiência de utilização do fertilizante (EUF). O superfosfato triplo proporcionou maior rendimento de grãos em comparação ao fosfato de Gafsa no primeiro ano de cultivo. A eficiência agronômica do FNR foi de 43% com adição de enxofre elementar e de 33% na ausência de enxofre. O teor de fósforo no tecido foliar foi inferior com o uso do fosfato de Gafsa em função da menor disponibilidade de fósforo no solo com aplicação de FNR. A dose de 30 kg ha⁻¹ de enxofre elementar não interferiu no pH do solo mas a eficiência de utilização da adubação fosfatada foi maior com a aplicação de enxofre.

Termos de indexação: Fontes de fósforo, eficiência agronômica, *Zea mayz*

ABSTRACT

With the objective of comparing the efficiency of the natural reactive phosphate (NRP) and the triple super-phosphate (TSP) associated with the elementary sulfur in the ridge of the maize plantation and also evaluate the influence of the elementary sulfur in the solubility of the NRP it was installed a field experiment in Toledo-PR in a eutroferric Red Latosol (Oxisol). In the experiment used a totally randomized design, with two sources of phosphorus in four levels of phosphate-fertilizers (0, 100, 200, e 300 kg ha⁻¹ of elementary sulfur) applied in the plantation ridge, in four repetitions. In the beginning of the culture blossom it was carried out collects of vegetable tissue to determine the content of phosphorus and sulfur in the foliar tissue. In the end of the plantation it was evaluated the insertion height and the spike size, the mass of grains in each spike is of 1000 grains, the number of lines and the grains in each spike and also the productivity of each allotment. It was collected some soil samples from 0-10 cm and 10-20 cm of depth to determine the contents of phosphorus, sulfur, potassium and pH. It was evaluated the index of agronomical efficiency (IAE), the equivalent in triple super-phosphate (EqTSP), the utilization factor of P and the efficiency of the fertilizer's utilization (EFU). The triple super-phosphate provided greater income of grains in comparison to the Gafsa phosphate in the first year of plantation. The agronomical efficiency of NRP was of 43% with the elementary sulfur addition and of 33% in the absence of sulfur. The phosphorus content in the foliar tissue was inferior with the utilization of the Gafsa phosphate related to the smaller availability of phosphorus in the soil with NRP application. The dose of 30kg ha⁻¹ of elementary sulfur did not interfere in the soil's pH, but the efficiency of the utilization of the phosphate-fertilizers was greater with the application of sulfur.

Terms for indexation: sources of phosphorus, agronomical efficiency, *Zea mayz*.

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas de aumentar a produtividade da cultura do milho, é sem dúvida a nutrição mineral adequada, por meio de programas que considerem, além da qualidade e quantidade de fertilizantes, o balanço de nutrientes requeridos, aliados a condições climáticas adequadas.

O suprimento inadequado de fósforo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura acarreta redução no número de espigas por unidade de área, e conseqüentemente, redução na produção final de grãos. Devido a baixa disponibilidade deste nutriente nos solos, os fertilizantes fosfatados são os mais aplicados na agricultura brasileira, sendo encontrados diversos adubos fosfatados no comércio, os quais diferem em concentração de fósforo e solubilidade.

O uso de fosfatos naturais reativos no mercado de fertilizantes no Sul do Brasil foi importante nas décadas de 70 e 80 com a importação do fosfato de Gafsa, então denominado hiperfosfato. Atualmente as fontes de fosfatos naturais reativos registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e mais comercializadas no Sul do país são as seguintes: Gafsa, importado da Tunísia, Arad, importado de Israel e Daoui, importado do Marrocos. Segundo legislação vigente, esses produtos devem apresentar no mínimo 28% de P_2O_5 total e 9% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%.

Um dos pontos mais polêmicos no que diz respeito à adubação fosfatada no Brasil, notadamente, é o que trata de fontes e sua eficiência de uso influenciada pela solubilidade dos fosfatos. A solubilidade do fosfato natural reativo (FNR) é menor do que a do superfosfato triplo (SFT), isto se deve pelo fato do mesmo ser obtido puro e simplesmente moendo-se a rocha apatítica, enquanto o SFT sofre tratamento químico (ácido fosfórico) para torná-lo solúvel. Apesar da menor solubilidade, os fosfatos naturais reativos têm mostrado aumento de rendimento das culturas quando aplicados diretamente no solo. O uso destes fosfatos é mais viável, em solos com

pH, em água, menor que 5,5, pois, à medida que o pH do solo aumenta, a eficiência desses fosfatos diminui.

O enxofre elementar, quando adicionado ao solo é oxidado por microrganismos (*Thiobacillus*) causando redução no pH, facilitando desta forma a solubilidade do FNR.

Nesta situação a hipótese que se formula é: o enxofre reduz o pH do solo, contribuindo para a solubilização do FNR, liberando fósforo para a cultura do milho. Desta forma, instalou-se um experimento em condições de campo com o objetivo de comparar a eficiência do fosfato natural reativo e do superfosfato triplo associado ao enxofre elementar em pó aplicados no sulco de plantio na cultura do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CULTURA DO MILHO

O milho é uma das mais importante plantas comerciais com origem nas Américas. Sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai da alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% da produção mundial.

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no mundo com 35,5 milhões de toneladas produzidas na safra 2004/05. Apesar disso, o Brasil não se destaca em produtividade. Considerando que a produtividade média mundial esta pouca cima de 4.000 kg ha^{-1} , o Brasil esta abaixo desta média com 2.900 kg ha^{-1} (AGRIANUAL, 2006). Um dos fatores que explica a baixa produtividade brasileira esta associado ao grande número de pequenos produtores que cultivam esse cereal em culturas de subsistência, sem adoção das tecnologias preconizadas para explorações econômicas.

Nos últimos anos, a cultura do milho, no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a necessidade da melhoria nas propriedades dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria está geralmente relacionada, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o manejo da fertilidade, pelo uso da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos.

Para que o objetivo do manejo racional da fertilidade do solo seja atingido, é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de diagnose de possíveis

problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso na agricultura.

O conhecimento das quantidades de nutrientes extraídas pelo milho, determinada pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos, permite estimar as taxas que serão exportadas pela colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através dos restos culturais.

A quantidade de nutrientes exportada depende da finalidade da cultura. Destinado à produção de grãos, menor será a exportação dos nutrientes do que quando se destina a cultura para silagem, devido a resíduos remanescentes da colheita no primeiro caso. Estes resíduos da colheita representam uma restituição de aproximadamente 42% do nitrogênio, 45% do fósforo e 81% do potássio extraído pela cultura (MUZILLI, 1982).

Além das quantidades de nutrientes extraídas, é fundamental saber o período em que eles são mais exigidos pela cultura. Existem diferentes períodos de absorção intensa, sendo que o primeiro ocorre durante a fase de desenvolvimento vegetativo, quando está se definindo o potencial de produção de grãos e o segundo ocorre durante a fase de reprodução ou formação da espiga, exatamente quando o potencial produtivo é atingido (FORNASIERI FILHO, 1992).

De acordo com Fornasieri Filho (1992), a absorção dos macronutrientes até o aparecimento da quarta folha é praticamente inexistente, o que pode ser atribuído a mobilização e translocação dos nutrientes contidos nas sementes para as raízes e parte aérea da planta, satisfazendo suas necessidades iniciais.

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para as plantas, pois todos os processos metabólicos que envolvam gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação dos diferentes órgãos, tem participação direta ou indireta deste nutriente.

Os solos das regiões tropicais e subtropicais caracterizam-se por serem pobres em fósforo e apresentam alta capacidade de adsorção, havendo assim, necessidade de aplicação deste elemento, porém de forma racional, pois sabe-se que as rochas fosfáticas são recursos naturais não renováveis e escassos (NOVAIS e SMYTH, 1999).

2.2 FOSFATOS NATURAIS

A recomendação de utilização do fosfato natural reativo para aplicações direta na agricultura é a que tem recebido maior número de adeptos, porém a solubilidade desses fosfatos é bastante distinta entre eles.

O fósforo, em termos mundiais, está contido nas rochas de depósitos de origens sedimentares, ígneas e biogenéticas. São constituídos por minerais do grupo das apatitas, variando em composição, textura.

Os depósitos sedimentares e os depósitos de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico. Os depósitos biogenéticos são concentrações orgânicas nitrogenadas, originadas pelos dejetos de aves, e quantitativamente menos importantes.

Os minerais fosfatados originários de sedimentos marinhos estão localizados nos Estados Unidos, sudeste do México, Marrocos, noroeste do Saara e Oriente Médio. Já aqueles originários de depósitos ígneos estão presentes em países como a África do Sul, Rússia, Finlândia e Brasil, entre outros. No Brasil, cerca de 80% das jazidas de fosfatos naturais, são em geral, de origem ígnea com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos com baixo teor de P_2O_5 , enquanto que em termos mundiais esse percentual está em torno de 17% (SOUZA, 2001).

Esses fosfatos recebem a denominação de fosfato natural, rocha fosfatada ou mesmo concentrado fosfático, caso sejam passíveis de serem utilizados, quer diretamente como material fertilizante, quer como insumo básico da indústria do fósforo ou de seus compostos, tal qual se encontram na natureza ou após os minérios sofrerem concentração por meios físicos nas usinas de beneficiamento. O conteúdo de P dos concentrados fosfáticos são comercialmente expressos sob a forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5) ou fosfato tricálcio $Ca_3(PO_4)_2$ (SOUZA, 2001).

Gremillion e McClellan (1980) classificaram os depósitos de rocha fosfática em três classes de acordo com a composição mineral: fosfato de ferro – alumínio, fosfato de cálcio – ferro – alumínio e fosfatos de cálcio. Estas três classes constituem uma seqüência natural de intemperização dos depósitos de rochas fosfáticas. A classe de maior importância econômica é a de fosfato de cálcio por causa do seu uso na indústria de fertilizantes.

Uma característica importante do fosfato natural reativo é a sua maior reatividade (RAJAN et al., 1996). Essa reatividade é estimada através da solubilidade do FNR em solventes orgânicos. Os fosfatos de origem metamórfica ou ígnea são poucos reativos, já os de origem sedimentar são classificados como altamente reativos.

Existem certas vantagens para o FNR, particularmente quando possuem alta solubilidade em citrato neutro de amônio, e as jazidas encontrarem-se próximas de áreas importantes, sobre o ponto de vista da agricultura, entretanto, de acordo com Stangel et al. 1979, o uso de fosfatos naturais simplesmente moído apresenta certas desvantagens que não podem ser ignoradas:

- a) O teor de fósforo solúvel nos fosfatos naturais é, geralmente, menor do que aquele encontrado nos fosfatos solúveis em água, o que limita sua competição no mercado.
- b) A eficiência agronômica dos fosfatos naturais é fortemente influenciada pelas características inerentes do próprio fosfato, pelo tipo e condições de solo, cultura, clima e manejo.

Particularmente para os fosfatos naturais reativos insolúveis em água, é necessário o suprimento de prótons (acidez), para que ocorra solubilidade do mesmo como observado por Robinson et al., 1994.

Procurando avaliar o efeito da acidez do solo sobre a efetividade do fosfato de Araxá no suprimento de fósforo para as plantas, Viegas (1991), desenvolveu um trabalho onde procurou separar o efeito da acidez sobre as reações do fosfato com o solo do efeito sobre o comportamento da planta. Para isto o autor incubou uma única dose de fósforo com amostra de nove solos com diferentes níveis de acidez. Após 40 dias de incubação cada tratamento recebeu corretivo de modo que o pH final fosse elevado para 6,5, quando então se fez o cultivo do sorgo. Os diferentes níveis de acidez do solo alteraram o crescimento e a absorção de fósforo pela planta. Para os maiores valores de pH natural dos solos (acima de 5,5) observou-se decréscimo na disponibilidade de fósforo, porém em alguns solos a produção de matéria seca voltou a crescer após a correção para pH 6,5 (VIEGAS, 1991).

A acidez necessária à solubilização do fosfato natural reativo pode ser induzida pelo cultivo. Algumas plantas, principalmente as leguminosas, apresentam acidificação da rizosfera, podendo diminuir o pH do solo em torno da raiz em 1,0 a 1,5 unidades (GILLESPIE & POPE, 1990).

Gillespie e Pope (1990) observaram que a acidificação da rizosfera da leguminosa “black locust” (*Robinia pseudoacácia*), em amostras de seis solos aumentou a recuperação estimada de três fosfatos naturais com reatividades distintas, pela planta, nos mesmos solos, de 40 a 300%, em relação à não acidificação.

A utilização de fosfatos naturais com eficiência agronômica maior do que a apresentada pelos fosfatos brasileiros, pode representar redução nos custos com adubação fosfatada.

A baixa solubilidade do FNR é uma característica que descarta o seu uso em algumas culturas anuais como fonte de fósforo, mas em contrapartida, apresenta um efeito residual no solo, fornecendo fósforo por um período mais prolongado que as fontes solúveis, daí a indicação para a sua utilização em adubações corretivas ou fosfatagem. Esta fosfatagem tem por objetivo elevar o teor de P- disponível do solo para teores adequados.

Alguns fosfatos naturais de maior reatividade, como o de Gafsa e o do Norte Carolina, têm-se mostrado tão ou mais eficientes no fornecimento de fósforo para as plantas de ciclo curto quanto às formas mais solúveis, como os superfosfatos (KAMINSKI e PERUZZO, 1997).

2.3 FÓSFORO NO SOLO

Dentre os três macronutrientes primários (NPK), o fósforo é o menos exigido pelas culturas, mas trata-se do nutriente mais usado em adubações no Brasil. Isto deve-se a carência generalizada deste nos solos brasileiros e pela forte interação do elemento com o solo (RAIJ, 1991).

O teor total de fósforo nos solos está entre 0,2 e 5,0 g kg⁻¹, mas apenas uma pequena fração está disponível para as plantas. O P no solo pode ser dividido em quatro amplas categorias: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; e P componente de matéria orgânica (Barber, 1984).

A aplicação de fósforo ao solo pode ser feita principalmente na forma de fertilizantes e pela incorporação da matéria orgânica ao solo. A forma com que o

fósforo encontra-se disponível em solução para as plantas em solos com pH entre 5,0 e 7,0 é, predominantemente, o H_2PO_4^- que, pode ser fortemente adsorvido por argilas, óxidos, formar precipitados com ferro, alumínio ou manganês, entre outros, incluindo-se aí a possibilidade de compostos orgânicos de baixa solubilidade (NOVAIS e SMIYTH, 1999).

2.3.1 Adsorção de Fósforo no Solo

O fenômeno de adsorção ou retenção de fósforo no solo é conhecido há mais de um século e meio pelo trabalho de Tomas Way (1850), citado por Sample et al. (1980). Embora essa retenção seja um fenômeno favorável à utilização do fósforo pelas plantas, o envelhecimento dessa retenção, com a formação de fósforo não-lábil, torna-se problemático.

Nestes processos de adsorção com baixa reversibilidade, denominado por alguns autores de fixação, nos solos tropicais e subtropicais, caso dos solos brasileiros, predomina a interação com óxidos de ferro e alumínio, presentes em quantidades apreciáveis.

Segundo Sanyal e De Datta (1991), adsorção é um termo genérico que indica reações químicas e mesmo físicas que ocorrem em interfaces (superfícies de separação de duas faces). A superfície (óxidos por exemplo) é chamada adsorvante, e a substância adsorvida (íon fosfato) é chamado adsorvato. A superfície muitas vezes é porosa, ou mostra imperfeições ou microporos, permitindo a difusão do íon fosfato em seu interior, dando continuidade às reações.

O processo contínuo de retirada do fósforo disponível pelas plantas aumenta a necessidade de aplicação de fertilizante, assim, algumas medidas podem ser tomadas para reduzir estas perdas, como: fazer correção de pH do solo, já que em solos ácidos a presença de alumínio na solução do solo, pode levar à precipitação de fosfato de alumínio, e aplicar fertilizantes granulados ou de liberação gradual, de modo que a planta possa competir com as superfícies fixadoras de fósforo.

2.3.2 Adsorção por Óxidos de Ferro e Alumínio

Vários minerais presentes nos solos têm a propriedade de reter fósforo na superfície. Destes, os mais importantes são óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e as argilas silicatadas. Os óxidos e hidróxidos de Fe e Al tem uma capacidade de reter fósforo muito maior que as argilas.

Segundo Barrow (1985), na fase inicial de rápida adsorção de fósforo no solo, há uma atração eletrostática inicial, seguida pela adsorção por oxidróxidos, por meio de troca de ligantes.

Nessa reação denominada quimiossorção, há troca de ligantes, como OH^- e OH_2^+ , da superfície dos óxidos, por fosfato da solução. É uma ligação predominantemente covalente (PARFITT, 1978).

Com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativas, aumentando a repulsão (menor adsorção) entre fosfato e superfície adsorvente e, diminuindo o potencial eletrostático do plano de adsorção (ψ_a) (HAYNES, 1984; BARROW, 1985). Como consequência, a adsorção de fósforo pelo solo deve ser máxima com baixos valores de pH (PARFITT, 1978; HAYNES, 1984).

Por outro lado, com o aumento do pH, diminui a presença da forma H_2PO_4^- , em relação à HPO_4^{2-} , que é preferencialmente absorvida pelas plantas. Portanto, com o aumento do pH, aumenta a forma bivalente, que tende a contrabalançar o decréscimo do ψ_a . Adicionalmente, a força-iônica da solução do solo (concentração de eletrólitos e tipo de cátion presente) afeta o ψ_a . O aumento de cátions numa superfície negativamente carregada torna o ψ_a menos negativo, aumentando a capacidade de adsorção de fósforo. Esse efeito é mais intenso para cátions de valência maior, como Ca^{2+} , comparativamente a K^+ e este maior que para Na^+ , justificando a maior difusão de fósforo na forma de NaH_2PO_4 que na de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em solos ácidos (NOVAIS e SMYTH, 1999). Estes autores afirmam ainda que, semelhantemente, o aumento da força-iônica da solução de solos ácidos com a calagem e a grande presença de Ca^{2+} mascaram o efeito esperado de maior pH, decrescendo a adsorção de fósforo dos solos.

O nem sempre observado efeito da calagem de solos sobre a diminuição da adsorção de fósforo tem, ainda, causas adicionais a essas. A calagem em solos

ricos em Al^{3+} tende a aumentar a adsorção de fósforo, diminuindo-a em solos pobres em Al^{3+} , conforme Haynes (1984). Segundo esse autor, polímeros de hidróxido de alumínio recém formados com a calagem apresentam alta afinidade pelo fósforo.

2.3.3 Adsorção por Aluminossilicatos

De acordo com Parfitt (1978), a presença de grupos OH^- ou OH_2^+ , dependendo do meio, nas bordas de argilas silicatadas proporciona mecanismos de adsorção semelhante ao apresentado para os oxidróxidos.

2.3.4 Adsorção por Matéria Orgânica

Correlações positivas entre teor de matéria orgânica (MO) do solo e adsorção de fósforo têm sido freqüentes na literatura. Embora possa haver uma razão indireta, por via da correlação positiva entre teor de argila e MO no solo, a razão principal parece ser, dado o caráter aniônico da MO, por via de pontes de cátions como Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, que reteriam o fósforo (Sanyal e De Datta, 1991). Há contudo, trabalhos que mostram a participação negativa da MO, reduzindo a adsorção de fósforo em solos, por meio de ácidos orgânicos adsorvidos, bloqueando sítios de adsorção, como os dos oxidróxidos e o oxalato (PARFITT, 1978).

2.3.5 Precipitação de Fósforo nos Solos

Precipitação é a reação entre íons, com a formação de uma nova fase ou composto definido. É um processo tridimensional, ao contrário da adsorção, que é bidimensional. Todavia, esses dois mecanismos de retenção de fósforo pelo solo são de difícil distinção e ambos são descritos pelo mesmo modelo matemático. É a

reação de fósforo às formas iônicas de Al^{3+} e de Fe^{2+} em solos ácidos ou a Ca^{2+} em solos neutros ou calcários, formando compostos de composição definida e pouco solúveis (SAMPLE et al., 1980).

Segundo Sample et al., (1980), a precipitação de fósforo em solos torna-se particularmente importante durante a dissolução de grânulos de fertilizantes, ultrapassando os produtos da solubilidade de componentes da reação solo-fertilizante.

Segundo Haynes (1984), o alumínio em solução pode causar precipitação de fosfatos adicionados ao solo. Para evitar essa reação, deve-se precipitar o Al^{3+} , por calagem anterior à adição da fonte de fósforo. De toda maneira, a retenção de fósforo pelo solo mantém-se em valores estequiométricos semelhantes quando se substitui a precipitação do fósforo pelo Al^{3+} do solo ácido pela sua adsorção pelo hidróxido de Al^{3+} recém formado pela calagem. Além do mais, polímeros catiônicos de Al^{3+} formados com a calagem podem capear colóides do solo, restringindo-lhes a carga negativa. Quando se considera que P-Al é, aparentemente, a forma que melhor representa o P-lábil do solo, entre as formas minerais, verifica-se que essa forma de retenção de P no solo não pode ser considerada pior opção quanto à disponibilidade de P para as plantas, quando comparada com P-Fe e P-Ca.

2.4 ENXOFRE NO SOLO

O enxofre é absorvido pelas plantas na forma do ânion SO_4^{2-} . Em muitos solos, esse ânion não é retido no solo e, assim, facilmente lixiviado. Em solos que predominam óxidos de ferro e alumínio, além de caulinita, pode haver adsorção específica de SO_4^{2-} no solo. Um fator muito importante nessa adsorção é o pH do solo, quanto maior ele for, menor será adsorção (RAIJ, 1991).

Ao contrário do que acontece com os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} mais retidos no solo, o SO_4^{2-} está sujeito a três fatores que dificultam a sua adsorção. O primeiro refere-se a presença de teores maiores de matéria orgânica, que reduz a adsorção por óxidos e aumentam a carga negativa do solo, portanto, repelindo sulfatos. O segundo refere-se a aplicação freqüente de calcário, que resultam no aumento do pH e a liberação de sulfatos adsorvidos. Finalmente, os fosfatos aplicados em

adubações ocupam preferencialmente as posições de troca que seriam ocupados por sulfatos (RAIJ, 1991).

A necessidade de enxofre pelas plantas varia grandemente entre as espécies afirma Fnie (1974). As pesquisas têm mostrado efeitos positivos da aplicação de enxofre em leguminosas (soja e feijão), em gramíneas (arroz, trigo, milho, sorgo sacarino, cana-de-açúcar), e em outras famílias.

Segundo Alvarez et al. (1988), as necessidades de complementação dos requerimentos de enxofre pela fertilização têm aumentado paralelamente com os aumentos de produtividade e pelo uso cada vez mais freqüentes de fertilizantes concentrados livres de enxofre.

2.4.1 Transformações do Enxofre no Solo

Em todos os solos, segundo Freney e Boonjawat (1983), em maior ou menor intensidade, ocorrem os seguintes processos:

- a) mineralização ou decomposição de enxofre orgânico com liberação de formas inorgânicas;
- b) imobilização ou conservação do enxofre inorgânico em compostos orgânicos dos microrganismos;
- c) produção de sulfetos pela redução de sulfatos;
- d) produção de formas voláteis;
- e) oxidação de enxofre elementar ou outras formas reduzidas.

De acordo com Probert (1980), os ânions não completamente dissociados como fosfato podem ser adsorvidos em qualquer valor de pH, tornando a superfície mais negativa e decrescendo o pH do ponto de carga zero do solo. Já o sulfato que pode ser facilmente dissociado em valores normais de pH do solo, somente é adsorvido nos sítios de carga positiva. Assim, a medida que a adsorção de fosfato promove o abaixamento do ponto de carga zero, menos sulfato é adsorvido.

Evidências de campo e de laboratório demostram que, quando a aplicação conjunta de fontes de sulfato e de fosfato, ou simplesmente de superfosfato simples, o fosfato tende a ser retido nas camadas superficiais do solo, enquanto o sulfato, nas subsuperficiais (ENSMINGER, 1954).

2.4.2 Oxidação do Enxofre

A oxidação do enxofre no solo pode se dar por atividade biológica ou em forma abiótica.

2.4.2.1 Oxidação Abiótica

Segundo Alexander (1977) quando se pensa em oxidação do enxofre em solos, imediatamente a atividade biológica é associada. Entretanto, não se pode deixar de considerar a oxidação não biológica, ou abiótica.

A oxidação de sulfetos à enxofre elementar (S^0) é uma reação química rápida no solo e concentrações crescentes de O_2 não limitam esta reação. Por outro lado, a oxidação do S^0 à sulfato é mais lenta (ALEXANDER, 1977; WAINWRIGHT, 1984).

Outra forma de S que pode ser oxidada abioticamente é o ácido sulfídrico (H_2S), que é oxidado a sulfato. Este ácido sulfídrico é encontrado no solo como uma das formas resultantes da mineralização de compostos orgânicos contendo o S, tais como a cisteína (FASSBENDER, 1978).

A oxidação do enxofre por meio de reações químicas, pode ser facilmente demonstrada realizando-se aplicações de enxofre elementar em solo autoclavado. No entanto, certamente a taxa de oxidação deste solo será menor do que a de um solo não auto clavado, evidenciando assim uma maior velocidade de oxidação do enxofre elementar quando da presença de microrganismos (NOR & TABATABAI, 1977).

Wiklander et al., citados por Wainwright (1984), demonstraram em solo autoclavado e seco ao ar, que após um período de incubação de 330 dias, cerca de 73% do enxofre elementar tinha sido oxidado a sulfato. No entanto, os mesmos autores concluem que em condições de campo, havendo um adequado suprimento de ar e umidade a oxidação microbiológica do S é um processo mais importante que a não biológica.

2.4.2.2 Oxidação Biótica

Um grande espectro de microrganismos é capaz de oxidar o S, incluindo aqueles do gênero *Thiobacillus*, de heterotróficos, bactérias fotossintetizantes, pigmentadas e filamentosas. No entanto, somente *Thiobacillus* e os heterotróficos desempenham importante papel na oxidação do S em solos cultivados (WAINWRIGHT, 1984).

O gênero *Thiobacillus* é o mais importante entre as bactérias que oxidam o S. De acordo com Wainwright, (1984) existem dois grupos principais dentro deste gênero: um formado por quimioautotróficos obrigatórios, que obtêm energia da oxidação do S e utilizam o CO₂ como fonte de carbono e outro formado por autotróficos facultativos.

Sulfeto, S-elementar, tiosulfato, tetracionato, tiocianato e sulfito, são alguns dos produtos da decomposição de compostos orgânicos contendo S, que podem ser oxidados por *Thiobacillus*, tendo como produto resultante o sulfato (STARKEY, 1966).

2.4.3 Adsorção de Sulfato no Solo

O ânion sulfato, uma vez na solução do solo, pode ser adsorvido pelas partículas coloidais do solo, ser absorvido por plantas, imobilizado pela biomassa microbiana, precipitado ou lixiviado juntamente com outros cátions do solo como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, etc. (Alvarez V. et al., 1988)

Dentre os constituintes coloidais do solo que apresentam a capacidade de reter o sulfato, destacam-se a matéria orgânica, os óxidos de Al e Fe e os minerais de argila silicatada ou argilominerais.

À semelhança do que acontece com o íon fosfato, os principais sítios de adsorção de sulfatos são representados por grupos hidroxilas (OH⁻) e aquos (OH₂) ligados a um metal (Fe²⁺ e Al³⁺), que, na presença de excesso de íons H⁺ ou OH⁻, podem se tornar carregados. Dessa forma, a carga existente na superfície dos óxidos torna-se dependente do pH da solução (PARFFIT, 1978).

Parece evidente existir um efeito direto da competição entre hidroxila e

sulfato e das atividades dos íons H^+ e OH^- sobre as características anfóteras dos principais sítios de adsorção da fração coloidal, fatos que certamente trazem repercussões sobre a adsorção eletrostática. Da mesma forma, observa-se um efeito de pH sobre o grau de dissolução da forma ácida do íon que, de acordo com Hingston et al. (1967) e Bohn et al. (1985), seria um aspecto muito importante para a adsorção do tipo troca de ligantes.

Os óxidos e hidróxidos de Fe e Al possuem a capacidade de formar uma película em volta dos minerais silicatados da fração argila, promovendo um capeamento. Dessa forma, esses minerais podem promover a adsorção do sulfato tanto na sua forma livre (METSON, 1979) como na de capeamento (ENSMINGER, 1954).

Vários autores têm demonstrado acentuado decréscimo da adsorção de sulfato à medida que o pH do solo se eleva, já afirmava Catani et al. (1971). Assim, de acordo com Raij (1991), a calagem promove aumento do teor de sulfato na solução do solo, e este comportamento se deve a um efeito direto do pH, pois hidroxilas deslocariam o sulfato adsorvido junto aos colóides do solo. Por outro lado, a adição de um kilo de enxofre elementar neutraliza a alcalinidade de três quilos de $CaCO_3$ (GIANELLO et al., 1995). Em algumas situações a oxidação dos compostos de enxofre pode diminuir muito o pH do solo. Na estação seca, a oxidação dos compostos reduzidos do enxofre com formação de H_2SO_4 pode provocar abaixamento do pH a 3,5.

Deste modo, o efeito do pH na adsorção de sulfato está relacionado com o total de cargas, ou sítios de adsorção existentes na superfície do colóide (CAMARGO e RAIJ, 1989).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, utilizando um híbrido simples de milho, o qual foi cultivado na região de Vila Nova, distrito do município de Toledo-PR. A área escolhida para o experimento estava ocupada com a cultura da aveia, a qual foi dessecada alguns dias antes do plantio.

O solo da área foi classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, apresentando teor de Fe_2O_3 variando de 18 a 36%, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 1999).

Previamente foi realizada coleta de uma amostra composta de solo na camada de 0-20cm de profundidade, a qual foi dividida em duas subamostras. Uma delas foi encaminhada para o Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da UNIOESTE-Campus de Marechal Cândido Rondon para determinação das propriedades químicas, e a outra foi enviada para o Laboratório de Física do Solo da UNIOESTE para a determinação das propriedades granulométricas (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados das análises químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho eutroférico na camada de 0-20 cm, antes do plantio

P	P res	S	M.O	pH CaCl ₂	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
----- mg dm ⁻³ -----			g dm ⁻³	0,01 mol L ⁻¹	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
2,94	17,0	4,46	35,54	5,17	5,76	0,05	0,52	5,94	1,56
SB	CTC	V	m	Argila		Silte		Areia	
---- cmol _c dm ⁻³ ----		----- % -----		----- g kg ⁻¹ -----					
8,02	13,78	58,20	0,61	694,5		142,9		162,6	

P e K extrator Mehlich – I; Ca, Mg, Al – extrator KCl 1 mol L^{-1} ; M.O.–determinado pelo método Walkley & Black (Defelipo & Ribeiro, 1981); $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ extraído por solução SMP; S extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 500 mg L^{-1} de P, em HOAc 2 mol L^{-1} (Alvarez V. et al. 2001); Análise física pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

3.1 ADUBAÇÃO

De acordo com os resultados obtidos da análise química do solo foi realizada a recomendação de adubação potássica, que correspondeu a quantidade de 40 kg ha⁻¹ de K₂O. Para o nitrogênio foi aplicado 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e mais 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura quando as plantas apresentavam entre 4-6 folhas, fornecidos na forma de uréia. A adubação com fósforo, potássio, nitrogênio e enxofre elementar em pó foi realizada manualmente no sulco de plantio antecedendo a semeadura, para isso usou-se uma calha de 6,0 metros de comprimento onde eram distribuídos os adubos e posteriormente depositados no sulco de plantio.

A operação de semeadura do milho foi feita no dia 29 de setembro de 2005, utilizando semeadora mecânica de quatro linhas, para distribuição apenas das sementes. Aos 25 dias após a semeadura efetuou-se o desbaste para se manter uma população de 60000 plantas ha⁻¹. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado durante o período de cultivo, conforme necessidade, utilizando-se produtos recomendados para cada situação.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições, sendo um fatorial de 2x4x2, ou seja, duas fontes de fósforo (Fosfato natural reativo, com 28% de P₂O₅ total e 9% solúvel em ácido cítrico 2%, e superfosfato triplo com 46% de P₂O₅ solúvel em CNA e água), com quatro níveis de cada fertilizante (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e 2 níveis de enxofre (0 e 30 kg ha⁻¹ de enxofre elementar em pó) totalizando 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída por 4 linhas de cultivo, cada linha com 6,0 metros de comprimento e com espaçamento entre linhas de 0,90 metros. Como parcela útil foi utilizado as 2 linhas internas, eliminando-se 0,50 metro de cada extremidade, o que resultou na área útil de 9 m² por parcela.

3.3 AVALIAÇÃO E COLETAS DE DADOS

3.3.1 Amostragem e análises químicas de tecido vegetal

Foram efetuadas amostragens de tecido vegetal no início do florescimento da cultura. De cada parcela foram coletadas folhas de dez plantas bem desenvolvidas e representativas. De acordo com as recomendações de Malavolta et al. (1997), coletou-se a primeira folha abaixo e oposta da espiga.

As amostras foram condicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas da UNIOESTE, onde foram lavadas e colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a 60° C por um período de 72 horas, sendo posteriormente moídas e homogeneizadas.

Para determinação dos teores de P e S as amostras de tecido vegetal foram submetida a digestão nítrico-perclórica na proporção de 3:1. Para determinação do teor de N e posteriormente o teor de proteína no grão, as amostras foram submetidas a digestão sulfúrica e o teor de N determinado pelo método da destilação a vapor em aparelho semi-micro-Kjeldahl, de acordo com Tedesco et al. (1995). Nos extratos, o teor de P foi determinado por espectrofotometria UV-vis, segundo metodologia de Braga e Defelipo (1974) e o S dosado por turbidimetria segundo metodologia de Alvarez, V., et al. (2001).

3.3.2 Amostragem e análises químicas do solo

Após a colheita do milho, realizada no mês de fevereiro de 2006, foram coletadas amostras de solo nas profundidades, 0-10cm e 10-20cm, sendo coletadas 4 amostras simples na linha de plantio dentro de cada parcela para a formação das amostras compostas, as quais foram encaminhadas ao laboratório para posterior análise. Nas amostras foram avaliados o pH em cloreto de cálcio 0,01mol L⁻¹, P extraído com resina de troca aniônica e pelo extrator Mehlich-I e determinado por espectrofotometria UV-vis, o K extraído por Mehlich-I e determinado por fotometria

de chama, e o S utilizando como extrator o fosfato de cálcio em HOAc 2 mol.L⁻¹ e dosado por turbidimetria em espectrofotometria UV-vis, segundo metodologia de Alvarez, V., et al. (2001).

3.3.3 Avaliação dos componentes de produção

Antes da colheita foi avaliada a altura de inserção de espiga. Para avaliar o tamanho de espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e massa de 1000 grãos, foram coletadas 10 espigas representativas em cada parcela. A estimativa da produtividade foi obtida efetuando-se a colheita da área útil de cada parcela (9m²), nestas foi determinado o teor de umidade e feita posterior correção da produtividade para 13% de umidade.

3.3.4 Precipitação

Durante o período do experimento foi efetuada periodicamente leituras do volume de chuvas ocorridas na região, os dados de precipitação encontram-se na tabela 2 .

Tabela 2 – Precipitação ocorrida durante o período do experimento

Mês	Out./05	Nov./05	Dez./05	Jan./06	Fev./06
Precipitação (mm)	414	183	65	165	118

3.3.5 Índices de Eficiência

O índice de eficiência agronômica (IEA) e equivalente em superfosfato triplo (EqSFT) citados por Goedert e Lobato (1984) e Moreira et al. (2002) foram calculados da seguinte forma $IEA (\%) = [(Y_2 - Y_1)/(Y_3 - Y_1)] \times 100$ e $EqSFT (\%) = (P_{SFT}/P_n) 100$, onde:

Y_1 = Produtividade de grãos obtidos no tratamento testemunha (sem P).

Y_2 = Produtividade de grãos obtidos com a fonte testada (FNR) nas diferentes doses de P.

Y_3 = Produtividade de grãos obtidos com a fonte de referencia (SFT) nas diferentes doses de P.

P_{SFT} = Produtividade obtida com a fonte solúvel (SFT) na dose n.

P_n = Produtividade obtida com a fonte testada (FNR) na dose n.

Determinou-se ainda o fator UP, que é o fator de utilização do fósforo ($kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 /aumento de produção em $kg\ ha^{-1}$), considerando o aumento de produção a diferença obtida em relação a produção de grãos da testemunha (sem aplicação de P) (Tyney e Webb, 1946).

Calculou-se também a eficiência de utilização do fertilizante (EUF) na presença e ausência de enxofre elementar, utilizando-se a seguinte fórmula adaptada de Siddiqi e Glass (1981).

$EUF = \text{Aumento de produtividade em relação à testemunha (kg ha}^{-1}\text{)}/\text{doses de P}_2\text{O}_5 \text{ aplicadas (kg ha}^{-1}\text{)}.$

3.3.6 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância, de regressão e teste de médias. As equações de regressão foram selecionadas escolhendo os modelos significativos com base no valor F e maior coeficiente de determinação (R^2).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3, é apresentado o resumo da análise de variância e médias para os componentes de produção, teores de P foliar, S foliar, K foliar, P grão e teor de proteína para a cultura do milho. Houve diferença significativa para as fontes utilizadas em quase todas as variáveis estudadas, não diferindo apenas na altura de inserção de espiga e massa de 1000 grãos. O FNR foi superior ao SFT apenas para teor de proteína, para as demais variáveis, o SFT foi superior ao FNR. Com relação a presença ou não de enxofre, ocorreu diferença significativa apenas para o teor de enxofre no tecido foliar, com maiores teores com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de enxofre elementar.

Ocorreu interação significativa entre doses e fontes para os componentes, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e produtividade, sendo que para os dois últimos houve interação significativa entre dose de fósforo e enxofre. A adição de enxofre elementar não apresentou interação significativa com as fontes utilizadas. A única interação tripla ocorreu para a variável S foliar.

Para o teor de P no tecido foliar houve efeito significativo das fontes e de doses utilizadas. Com aplicação de SFT o teor de P foi de 2,7 g kg⁻¹, ficando dentro da faixa adequada para a cultura do milho enquanto que com o uso do FNR o teor de P foi de 2,4 g kg⁻¹, ficando este, abaixo da faixa adequada para a cultura do milho (Tabela 3), a qual segundo Malavolta et al. (1997), é de 2,5 a 3,5 g kg⁻¹. Entretanto, para Cantarella et al. (1996), a faixa de teor de P considerada adequada é de 2,0 a 4,0 g kg⁻¹.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e comparação de médias para os componentes de produção, teores de Pfoliar, Sfoliar, K foliar, Pgrão e teor de proteína para a cultura do milho em função da aplicação de fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato triplo (SFT), e presença e ausência de enxofre (S)

Fonte de Variação	P foliar	S foliar	K foliar	P grão	Proteína	Alt. ins. esp.	Tam. esp.	Nº fil. esp.	Nº grão esp.	Massa 100	Peso esp.	Produt.
	----- g kg ⁻¹ -----				%	m	cm			-----g -----		kg ha ⁻¹
FNR	2,42 b	1,74 b	16,51 b	1,94 b	7,82 a	1,34 a	15,67 b	14,81 b	525,96 b	25,83 a	134,77 b	8086,13 b
SFT	2,69 a	1,80 a	17,24 a	2,15 a	7,61 b	1,36 a	16,60 a	15,38 a	568,48 a	26,61 a	149,34 a	8960,34 a
Com S	2,57	1,81 a	17,02	2,07	7,74	1,36	16,02	15,12	544,64	26,48	142,85	8570,71
Sem S	2,53	1,72 b	16,73	2,01	7,68	1,34	16,25	15,06	549,79	26,16	141,26	8475,76
Valor F												
Fonte (F)	126,67**	4,33*	11,44**	32,36**	4,16*	2,88 ^{ns}	29,68**	24,03**	36,71**	3,71 ^{ns}	41,22**	41,22**
Doses (D)	70,92**	0,11 ^{ns}	0,84 ^{ns}	8,20**	1,04 ^{ns}	1,79 ^{ns}	15,14**	3,59*	11,51**	2,18 ^{ns}	20,90**	20,90**
Enxofre (E)	2,79 ^{ns}	9,66**	1,84 ^{ns}	2,26 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,49 ^{ns}
(D x F)	2,75 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,53 ^{ns}	2,03 ^{ns}	4,54**	3,15*	2,85*	7,92**	7,92**
(D x E)	0,50 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,70 ^{ns}	2,94*	5,87**	5,87**
(F x E)	0,82 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,006 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
(D x F x E)	2,47 ^{ns}	3,59*	0,18 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,60 ^{ns}
C.V. %	3,84	6,46	5,12	7,82	5,20	3,44	4,24	3,09	5,13	6,19	6,39	6,39

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade
 (*, **) Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ^(ns) Não significativo

Essa diferença entre as faixas adequadas de P no tecido foliar apresentadas pelos dois autores, pode ser atribuída ao uso de diferentes cultivares, pois, Machado et al. (1999), observaram grande variabilidade entre genótipos e cultivares de milho para a eficiência do uso de fósforo. Entre as fontes estudadas, observa-se com base no teor de P foliar que a liberação e absorção de P do FNR foi menor comparado ao SFT.

Quanto ao efeito de doses de P_2O_5 utilizadas, ocorreu um acréscimo no teor de P foliar, ajustando-se os dados ao modelo quadrático com o maior teor foliar de P de $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ ocorrendo na dose estimada de 246 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 1).

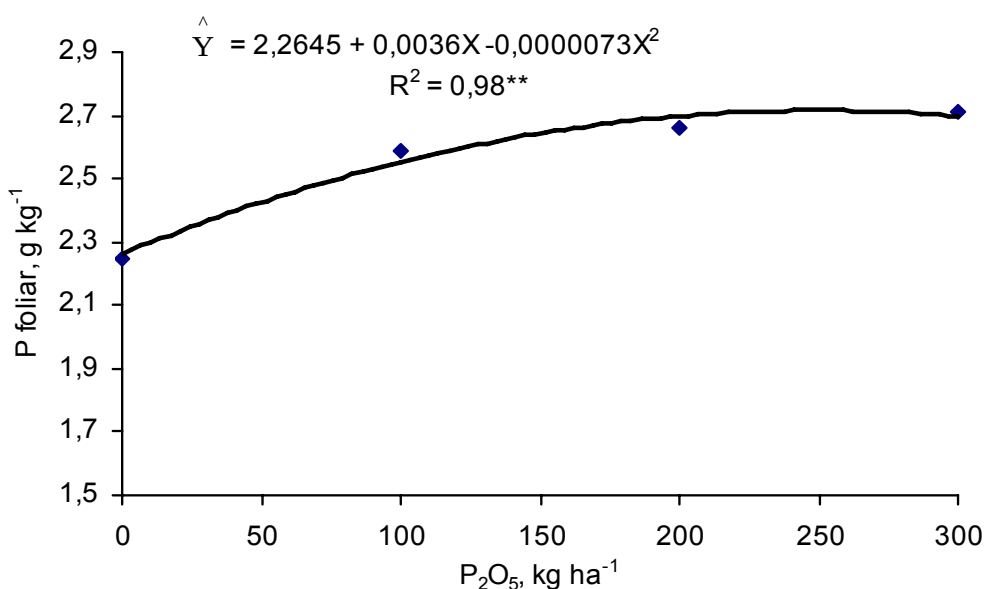


Figura 1 - Teor de P no tecido foliar na cultura do milho em função das doses de fósforo aplicadas no solo.

Conforme a tabela 4, observa-se que ocorreu incrementos na produtividade de grãos de milho com o aumento da concentração de P no tecido foliar, onde para o FNR houve acréscimo de $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ de P no tecido, proporcionando aumento de produção em 1 ton ha^{-1} , enquanto que para o SFT o acréscimo no tecido foliar foi de $0,56 \text{ g kg}^{-1}$ resultando em um aumento de produtividade de $2,16 \text{ ton ha}^{-1}$. Prado et al. (2001), trabalhando com um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico a campo,

encontrou incrementos de produção na ordem de $4,4 \text{ ton ha}^{-1}$ com um aumento de $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ no teor de P foliar com aplicação de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de SFT. Souza et al. (1998) também observaram em um ensaio em condições de campo, que uma variação menor que $0,5 \text{ g kg}^{-1}$ resultou em incrementos significativos na produção de milho.

Observa-se que o fator de utilização de P, definido como a quantidade, em unidade de nutriente, exigida para produzir aumento de uma unidade de produção de acordo com Tyney & Webb (1946) citados por Prado et al. (2001), aumentou com as doses de P_2O_5 para as duas fontes de P utilizadas, ou seja, reduziu a eficiência do adubo fosfatado aplicado (Tabela 4). Entretanto, a redução da eficiência foi menor para o SFT, estando o valor do fator de utilização de P na dose de 100 kg ha^{-1} (menor dose), próximo ao encontrado por Neptune et al. (1982) e Prado et al. (2001), que obtiveram valores de 0,051 e 0,044, respectivamente.

Tabela 4 - Teor de P no tecido foliar, incrementos de produção e fator de utilização do P, considerando as doses de P_2O_5 utilizadas para cada fonte

Doses de P_2O_5	Fontes					
	FNR			SFT		
	Teor P	Aumento produtividade ⁽¹⁾	Fator P ⁽²⁾	Teor P	Aumento produtividade	Fator P
kg ha^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	kg kg^{-1}	g kg^{-1}	kg ha^{-1}	kg kg^{-1}
0,0	2,17	—	—	2,33	—	—
100	2,46	630	0,16	2,73	1670	0,06
200	2,51	1000	0,20	2,81	1820	0,11
300	2,53	620	0,48	2,89	2160	0,14

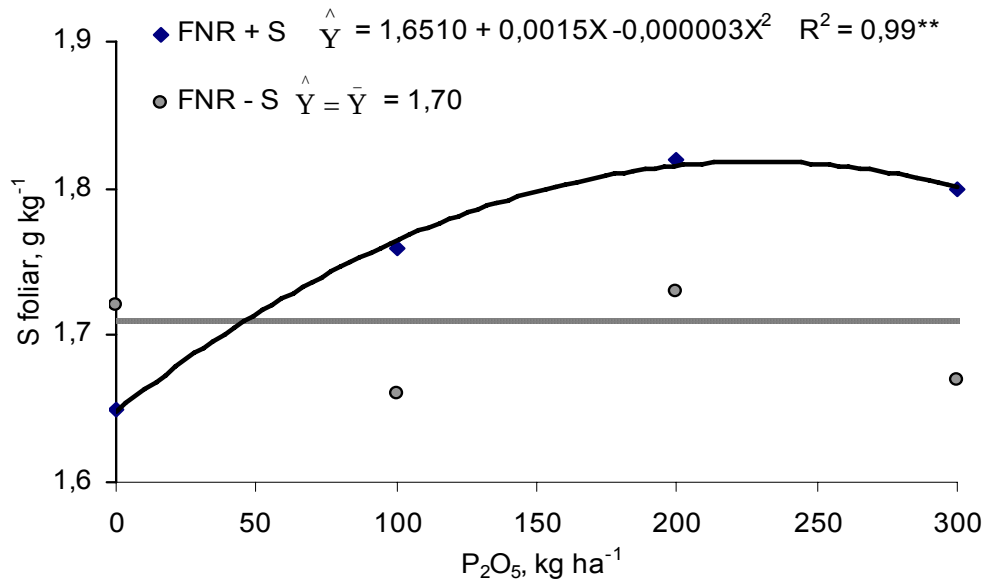
⁽¹⁾ Obtidos em relação a dose zero de P_2O_5 ($7,59 \text{ t ha}^{-1}$ FNR e $7,60 \text{ t ha}^{-1}$ SFT), ⁽²⁾ Fator de utilização do P ($\text{kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 / \text{aumento de produção kg ha}^{-1}$).

O enxofre no tecido foliar apresentou interação tripla significativa entre fontes, doses e enxofre. O enxofre adicionado juntamente com o FNR proporcionou aumento do teor no tecido vegetal até a dose de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com teor de $1,84 \text{ g kg}^{-1}$, decrescendo com aumento das doses (Figura 2a). Para o Superfosfato triplo, ocorreu o inverso, ou seja, ocorreu redução linear do teor de enxofre foliar com o aumento das doses de P_2O_5 , onde, a cada kg de fósforo aplicado ocorreu um decréscimo de $0,0007 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 2b). Este decréscimo do teor de S foliar com o aumento das doses de SFT, possivelmente, está relacionado à maior solubilidade desta fonte, liberando mais P, estabelecendo competição com o enxofre liberado da solubilização do enxofre elementar. Outra explicação seria o maior crescimento das plantas tratadas com esta fonte, ocorrendo assim um efeito de diluição do nutriente no tecido foliar. Para as duas fontes de P_2O_5 utilizadas, o teor de enxofre no tecido foliar ficou dentro da faixa adequada para a cultura do milho, a qual segundo Malavolta et al. (1997), é de 1,5 a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$.

Apesar do teor inicial de enxofre no solo estar dentro da classe de disponibilidade baixa que é de $2,6 - 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Embrapa, 1999), para os tratamentos sem enxofre, não houve diferença significativa no teor de enxofre foliar entre as doses de P_2O_5 para ambas as fontes utilizadas, apresentando valor médio de $1,71 \text{ g kg}^{-1}$ para o FNR, e de $1,73 \text{ g kg}^{-1}$ para o SFT.

O teor de potássio no tecido foliar não foi influenciado pelas doses de fósforo (P_2O_5) e nem pela adição ou não de enxofre, apenas observou-se diferença entre as fontes utilizadas (Tabela 3). Para o SFT o teor foliar médio de K foi de $17,24 \text{ g kg}^{-1}$ enquanto que para o FNR o teor foi de $16,51 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Malavolta et al. (1997) o teor foliar adequado de K para o milho deve ficar entre 17,5 a $22,5 \text{ g kg}^{-1}$, portanto, para ambas as fontes o teor foi inferior a faixa adequada.

(a)



(b)

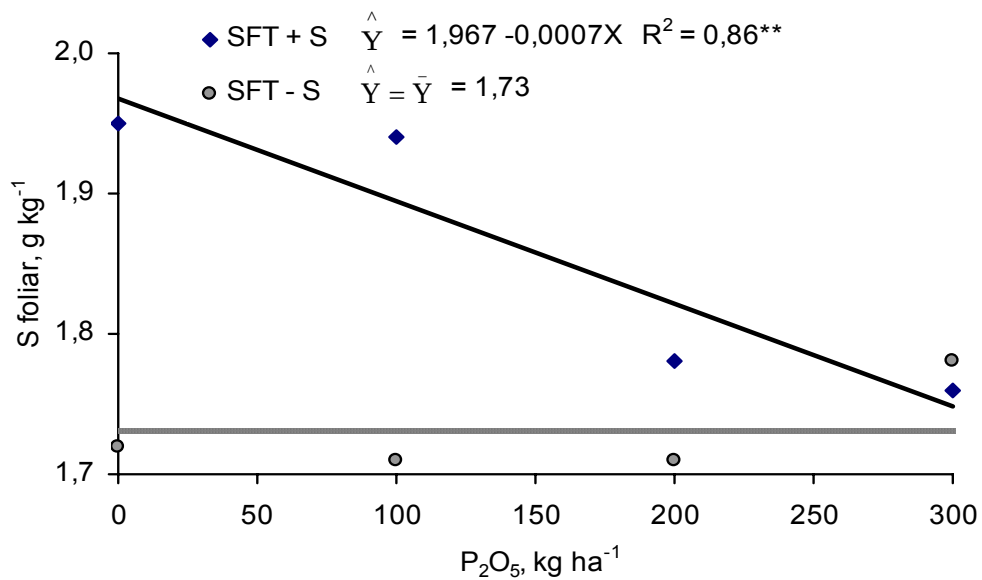


Figura 2 – Teor de S no tecido foliar na cultura do milho em função da aplicação de FNR (2a), SFT (2b) com adição ou não de S elementar.

Para o teor de fósforo nos grãos de milho houve diferença significativa entre as fontes e entre as doses utilizadas. Entre fontes ocorreu superioridade do SFT, que apresentou um teor de $2,15 \text{ g kg}^{-1}$, contra $1,94 \text{ g kg}^{-1}$ para o FNR, valores estes inferiores aos citados por Pauletti (2004), que considera o valor adequado, obtido da média de quatro trabalhos, de $3,8 \text{ g kg}^{-1}$. Observa-se que as doses de P_2O_5 utilizadas proporcionaram um incremento linear no teor foliar médio de P, com um acréscimo de $0,0008 \text{ g kg}^{-1}$ para cada quilo de P_2O_5 aplicado (Figura 3).

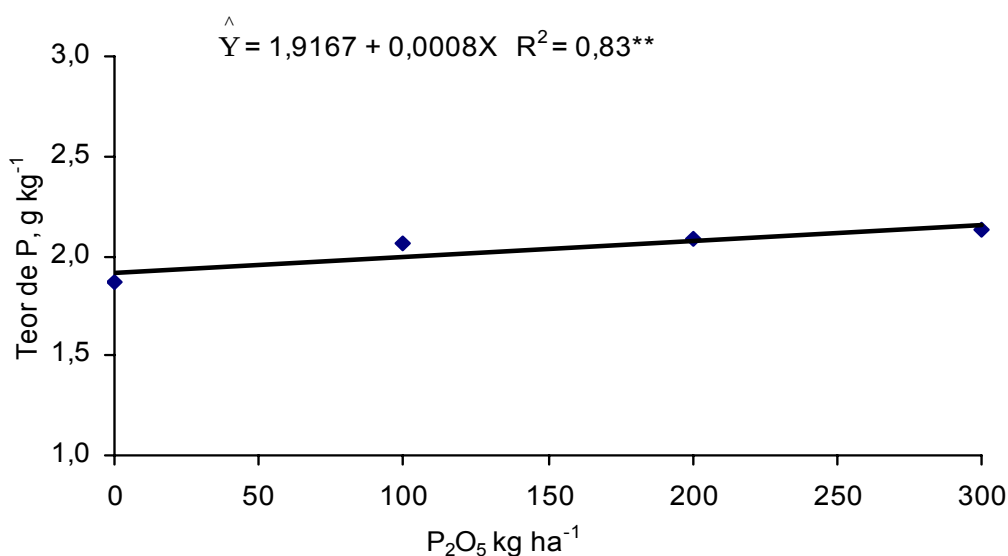


Figura 3 – Teor de P no grão de milho em função das doses de fósforo aplicadas no solo.

Para os componentes de produção, tamanho de espiga, número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga foi observado efeito significativo para fontes e doses, havendo superioridade do SFT (Tabela 3). Quando se considera o efeito de doses de P_2O_5 sobre o tamanho das espigas, observa-se que a resposta se ajusta ao modelo quadrático com tamanho máximo de 16,67cm definido para a dose de 238 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4).

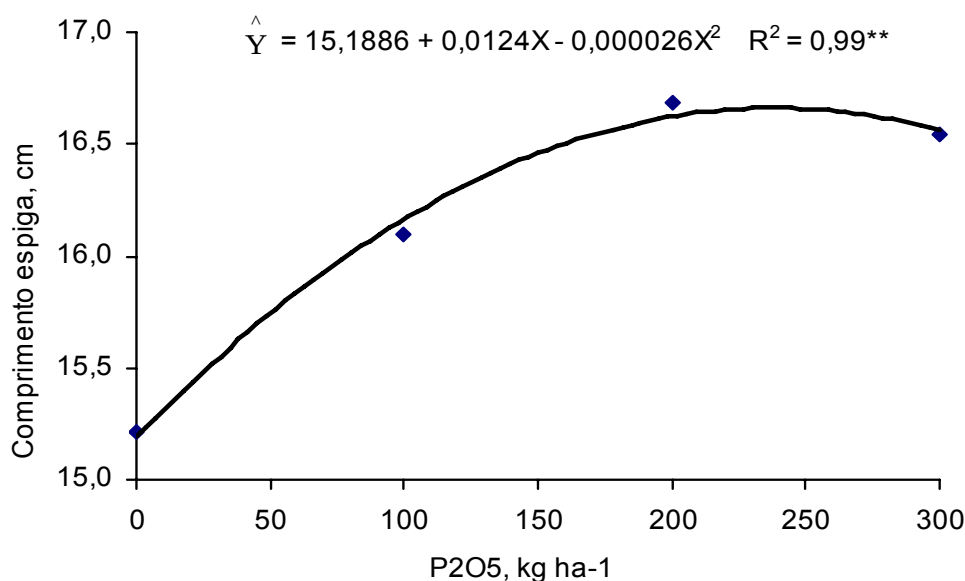
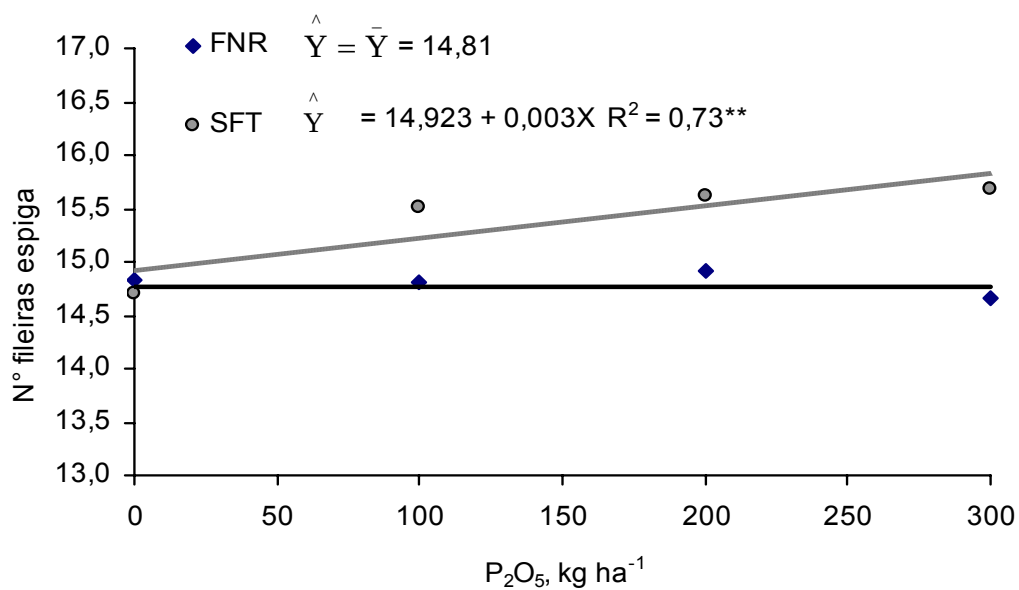


Figura 4 – Comprimento das espigas de milho em função das doses de fósforo aplicados no solo.

Foi observada interação significativa entre doses e fontes para número de fileiras e número de grãos por espiga ocorrendo superioridade do SFT. Para esta fonte houve incremento linear com o aumento das doses, onde, para cada kg ha^{-1} de P_2O_5 obteve-se aumento de 0,003 fileiras e 0,254 grãos por espiga (Figura 5a). Para o FNR não houve efeito das doses de fósforo apresentando, em média, 14,81 fileiras e 525,96 grãos espiga (Figura 5b).

A massa de 1000 grãos apresentou interação significativa entre fontes e doses de fósforo, havendo superioridade para o SFT em relação ao FNR, entretanto não foi possível ajustar a equação de regressão, apresentando, em média, 266,2g e 258,3g, respectivamente. Para esta variável também ocorreu interação entre doses de fósforo e aplicação de S, onde com a adição de enxofre obteve média de 264,8g e na ausência 261,6 g.

(a)



(b)

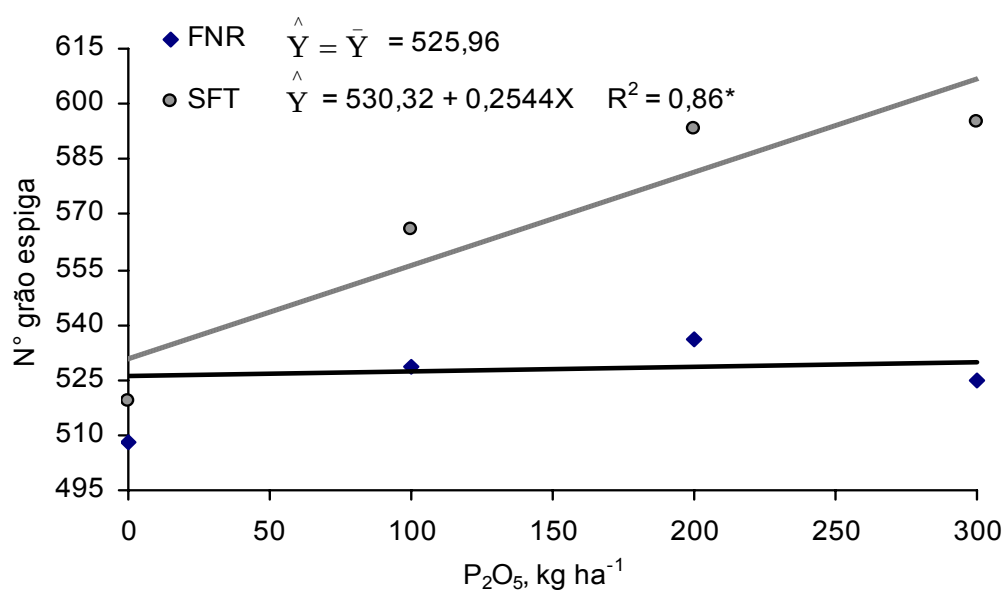


Figura 5 – Número de fileiras por espiga (a) e número de grãos por espiga (b) de milho em função das fontes e doses de fósforo.

A produtividade de grãos apresentou uma resposta quadrática para as doses de fósforo utilizadas em ambas as fontes, sendo que as maiores produções foram obtidas com o uso do SFT, tendo como ponto de máximo rendimento 9791 kg ha⁻¹ na dose 247kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto que o rendimento máximo com o uso do FNR foi de 8522 kg ha⁻¹ na dose de 194 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 6a). Estes dados corroboram com os encontrados por Kaminski et al. (1997), que trabalhando com doses crescentes de P de diferentes fosfatos, em um solo com disponibilidade média de P e pH em água em torno de 5,5, encontrou incrementos na produção de grãos de milho com aumentos das doses de P₂O₅, onde os mais altos rendimentos foram obtidos com o uso de fontes solúveis de P no primeiro ano de cultivo.

No presente trabalho, o teor inicial de fósforo do solo antes do cultivo era de 2,9 mg dm⁻³, portanto, baixo, o que justifica a maior resposta à fonte de maior solubilidade (SFT).

Barreto et al. (2002), em experimento de campo, no município de Umbaúba – SE, trabalhando com um Argissolo Amarelo com pH em água de 5,5 e baixo teor de fósforo, e utilizando diferentes doses de P₂O₅, também observaram incrementos na produção de grãos de milho até a dose de 155 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT aplicado no sulco de plantio. Efeitos negativos na produtividade com a elevação das doses também foram encontrados pelo mesmo autor.

O efeito negativo na adubação localizada de fósforo sobre a produtividade tem sido atribuído, por alguns autores, à salinidade ou a toxidez, resultantes das altas concentrações dos adubos fosfatados o que afetaria o crescimento das raízes (Peryea, 1990 citado por PRADO et al., 2001).

A maior produtividade física foi obtida com o uso do SFT o qual produziu 9791 kg ha⁻¹ na dose de 247 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto que para o FNR a produtividade máxima de 8522 kg ha⁻¹ foi obtido com a dose de 194 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Com esta dose (194 kg ha⁻¹ de P₂O₅) estima-se a produtividade de 9676 kg ha⁻¹ com o uso do SFT indicando, portanto, maior eficiência do SFT. Fazendo-se uma análise do índice de eficiência considerando o aumento da produtividade em relação a testemunha na dose de 194 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para ambas as fontes, verifica-se que o aproveitamento do P aplicado foi melhor para o SFT, produzindo 10,70 kg kg⁻¹ de P₂O₅, enquanto que para o FNR a produção foi de 4,85 kg kg⁻¹ de P₂O₅. Ao analisarmos a relação custo/benefício, ou seja, o ganho em reais para cada real

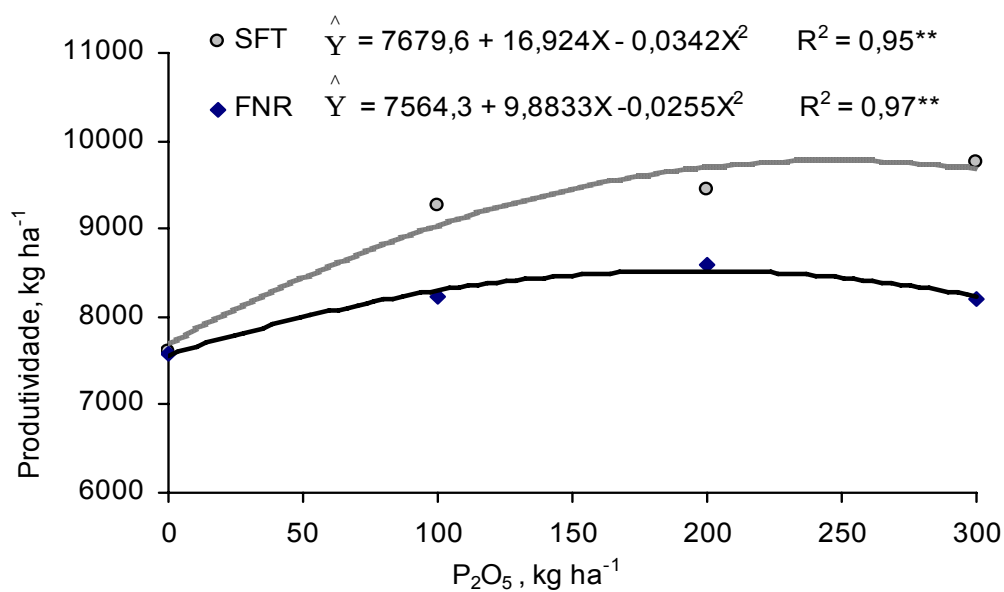
investido em ambas as fontes na dose de 194 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com os preços médios praticados na região de R\$ 380,00 ton de FNR (Gafsa), R\$ 740,00 ton de SFT e de R\$ 11,00 saca de 60 kg de milho (tomada de preço dia 07/08/06), obtemos um retorno de R\$ 1,21 para cada real investido na adubação com a fonte solúvel (SFT) e com o uso do FNR este retorno foi de R\$ 0,65 o que representa 47% a menos do que o obtido com o SFT. Com isso pode-se dizer que neste solo o uso do FNR como fonte de fósforo para a cultura do milho é anti - econômica no primeiro ano de plantio, mas poderá ter um efeito compensatório em cultivos subseqüentes.

Para a produtividade também houve interação significativa entre doses de P_2O_5 e aplicação de enxofre. Com adição de enxofre a máxima produção ocorreu na dose de 195 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com uma produção de 9308 kg ha^{-1} . Os tratamentos sem enxofre apresentaram uma tendência linear crescente, indicando que a máxima dose testada não foi suficiente para determinar a produtividade da cultura, onde a produtividade de 9227 kg ha^{-1} foi alcançada com a dose máxima de fósforo de 300 kg ha^{-1} (Figura 6b).

Com o exposto, observa-se que a adição de enxofre junto com a adubação fosfatada propiciou não apenas um maior incremento na produção de grãos, mas também uma melhor eficiência do adubo fosfatado, ou seja, com menores quantidades de adubos fosfatados obteve-se maiores rendimentos. Tal diferença de eficiência é melhor observada quando se faz a comparação considerando a produtividade máxima de grãos por kg de P_2O_5 , pois com adição de enxofre foi de $47,7 \text{ kg kg}^{-1}$, e sem adição foi de $30,8 \text{ kg kg}^{-1}$.

No Brasil são poucas as pesquisas sobre o uso de enxofre elementar como fonte de nutrientes para as plantas. Horowitz (2003), trabalhando em casa de vegetação com quatro cultivos consecutivos de milho, observou que a incorporação de enxofre elementar na forma de pó a superfosfato triplo, apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos. Estes resultados indicam que a utilização do enxofre elementar associado a fontes de fósforo apresenta potencial de utilização.

(a)



(b)

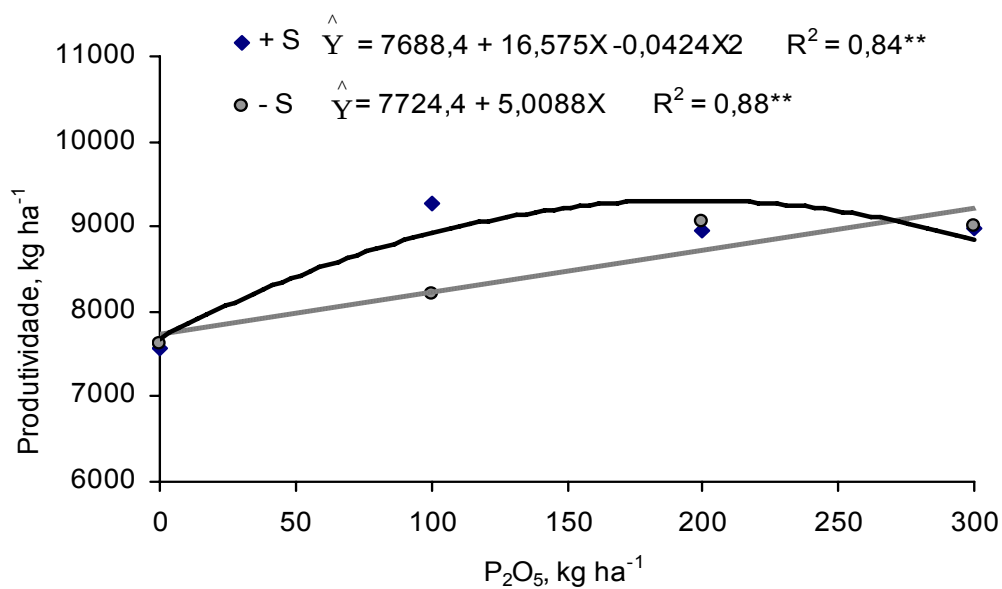


Figura 6 – Produtividade de milho em função de fontes e doses de fósforo (a) e em função da ausência e presença de enxofre elementar, e doses de fósforo (b), para uma população de 60.000 plantas por ha.

Avaliando-se a eficiência do uso do fosfato para cada dose utilizada de P_2O_5 , fica mais claro o efeito do enxofre sobre a disponibilidade de P para as plantas, onde com a dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 com adição de enxofre o índice de eficiência foi de 11,20 kg de grãos de milho para cada kg de P_2O_5 com o uso do FNR aplicado ao solo e de 23,02 kg para cada kg de P_2O_5 com o uso do SFT, reduzindo a eficiência com o aumento das doses para ambas as fontes (Tabela 5).

Sem a adição de enxofre a eficiência do fosfato foi melhor na dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o FNR com ganhos de 5,24 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 aplicado, índice este próximo ao valor encontrado com a adição de enxofre para a mesma dose. Para o SFT melhores índices de aproveitamento do P adicionado ao solo ocorreram nas doses de 100 e 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentando, aproximadamente, ganhos na produtividade de 10 kg para cada kg de P_2O_5 aplicado, portanto inferior aquele obtido com 100 kg ha^{-1} e adição de enxofre (Tabela 5).

Tabela 5 – Eficiência da adubação fosfatada para o FNR e SFT na presença e ausência de enxofre elementar

Doses P_2O_5	FNR			SFT		
	prod	Aumento prod.	EUf	prod	Aumento prod.	EUf
Com enxofre						
	kg ha^{-1}		kg kg^{-1}	kg ha^{-1}		kg kg^{-1}
0,0	7594	--	--	7545	--	--
100	8711	1120	11,20	9847	2302	23,02
200	8564	970	4,85	9418	1873	9,36
300	8210	616	2,05	9727	2182	7,27
Sem enxofre						
0,0	7587	--	--	7654	--	--
100	7729	142	1,42	8696	1042	10,42
200	8634	1047	5,24	9496	1842	9,21
300	8212	625	2,08	9799	2145	7,15

O índice de eficiência agrônômica do FNR usando como referência o SFT, apresentaram os maiores valores na dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , tanto na presença como ausência de enxofre, com valores de 52 e 57%, respectivamente. Mas nota-se que na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na presença de enxofre obteve-se índice de

49%, valor este próximo aos encontrados com a dose de 200kg. Analisando-se a média dos índices de eficiência agrônômica, que foram de 43% e 33% com a adição e sem adição de enxofre, respectivamente, pode-se inferir que houve ação de microrganismos do solo sobre o enxofre, tendo como consequência maior influência sobre a disponibilidade de P para as plantas (Tabela 6).

Estes índices estão próximos ao encontrado por Horowitz et al (2003), o qual encontrou IEA para o fosfato natural de Gafsa farelado de 42% em dois cultivos de milho em casa de vegetação. Já Piaia (2002) trabalhando em casa de vegetação com a cultura da soja, encontrou IEA bem superior, com valor de 103% em solo com saturação de bases de 50% e de 77% em solo com saturação de bases de 65%.

De acordo com Souza et al. (1999) menores IEA encontrados na saturação por bases acima de 60% podem ser devido entre outros fatores, aos maiores valores de pH e quantidade de cálcio do solo, que interferem negativamente na dissolução do fosfato natural de Gafsa.

Tabela 6 – Índice de eficiência agrônômica (IEA) e equivalente em SFT (Eq STF), para a produção de grãos de milho em função de doses de P_2O_5 aplicadas ao solo na presença e ausência de enxofre.

Doses de P_2O_5	IEA	Eq SFT
----- kg ha ⁻¹ -----	----- % -----	
Com enxofre		
100	49	113
200	52	110
300	28	118
média	43	114
Sem enxofre		
100	14	113
200	57	110
300	29	119
média	33	114

Na tabela 7 é apresentado o resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de fósforo, potássio enxofre e pH do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20cm, após a colheita.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de P e K no solo extraídos por Mehlich – I nas profundidades de 0-10cm (P10 e K10) e 10-20cm (P20 e K20), P no solo extraído por resina de troca aniônica na profundidade de 0-10cm (P10 res), teor de S disponível nas profundidades de 0 -10cm (S10) e 10 – 20cm (S20), e o pH na profundidade de 0-10cm, após a colheita

Fonte de variação	P10 M-I	P20 M-I	P10 res.	S10	S20	K10	K20	pH CaCl ₂ 0,01mol L ⁻¹
	----- mg dm ⁻³ -----				--- cmol _c dm ⁻³ ---			
FNR	36,49 b	5,35 a	59,16 b	8,26 a	5,13 a	0,48 a	0,31 a	5,24 a
SFT	57,09 a	5,56 a	73,53 a	7,98 a	5,34 a	0,48 a	0,30 a	5,26 a
Com S	42,94 b	5,95 a	67,19 a	11,25 a	6,18 a	0,48 a	0,30 a	5,21 a
Sem S	50,64 a	4,97 a	65,15 a	5,00 b	4,29 b	0,48 a	0,31 a	5,29 a
Valor F								
Fonte (F)	113,89**	0,07 ^{ns}	17,92**	0,16 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Doses (D)	381,85**	16,58**	109,26**	1,28 ^{ns}	1,31 ^{ns}	4,10*	0,79 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Enx.ofre (S)	15,91**	1,57 ^{ns}	0,25 ^{ns}	81,25**	11,24**	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,49 ^{ns}
(D x F)	24,15**	1,92 ^{ns}	2,00 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,26 ^{ns}	3,03*	1,85 ^{ns}
(D x S)	3,69*	1,93 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,85 ^{ns}	0,37 ^{ns}
(F x S)	31,09**	5,43*	3,81 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,93 ^{ns}
(D x F x S)	8,17**	0,93 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,87*	0,78 ^{ns}	1,02 ^{ns}	2,43 ^{ns}	1,08 ^{ns}
C.V. %	16,5	56,80	20,48	34,16	43,25	23,28	29,14	3,80

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(*, **) Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; (^{ns}) Não significativo.

As concentrações médias de P no solo na profundidade de 0-10cm após a colheita, diferiram significativamente, apresentando valores menores com o emprego do fosfato de Gafsa (FNR) em comparação com a utilização da fonte solúvel (SFT), para os dois extratores utilizados, com maior eficiência da resina em extrair fósforo do solo para as duas fontes. Os teores para SFT foram de 73,53 mg dm⁻³ extraído por resina e 57,09 mg dm⁻³ extraídos por Mehlich-I, enquanto que para o FNR estes valores foram de 59,16 mg dm⁻³ e 36,49 mg dm⁻³, respectivamente (Tabela 7). Raij e Diest (1980), citado por Braga et al. (1991), em trabalho com soja cultivada em vasos também verificaram que a resina mostrou-se mais eficiente em retirar fósforo do solo que recebeu superfosfatos, seguido de hiperfosfato. Braga et al. (1991), trabalhando com nove fosfatos, verificou uma tendência de maior extração de P pela resina, com o aumento das doses de fósforo, comparado ao H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹, que é similar ao Mehlich-I, principalmente para o superfosfato triplo seguido do fosfato de Gafsa.

Sarmento et al.(2002), trabalhando com um latossolo Vermelho Amarelo álico em casa de vegetação, utilizando fosfato de Gafsa, gesso e superfosfato triplo, em três semeaduras consecutivas de alfafa, utilizando como extrator a resina trocadora de íons, encontraram maiores concentrações para a fonte solúvel em relação ao fosfato natural após o primeiro e segundo cultivo. Após o terceiro cultivo o fosfato de Gafsa apresentou valores maiores que a fonte solúvel neste solo. Goedert e Lobato (1984) também encontraram resultados que corroboram com os obtidos no presente trabalho.

Diante do exposto pode-se supor que estes teores mais baixos de P no solo com o uso de fosfato natural poderão aumentar com o passar do tempo, devido a maior solubilização do fósforo do fosfato natural aumentando o teor de P no solo, como descrito por Goedert e Sousa (1984).

A concentração de fósforo no solo extraída por resina de troca aniônica aumentou significativamente com o incremento das doses de fósforo para as duas fontes utilizadas não diferindo quanto a presença ou ausência de enxofre (Tabela 7 e Figura 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Sarmento et al.(2002) e por Braga et al. (1991). Nota-se pela equação que ocorreu incremento no teor de fósforo no solo na razão de 0,27 mg dm⁻³ para cada quilo de P₂O₅ adicionado ao solo.

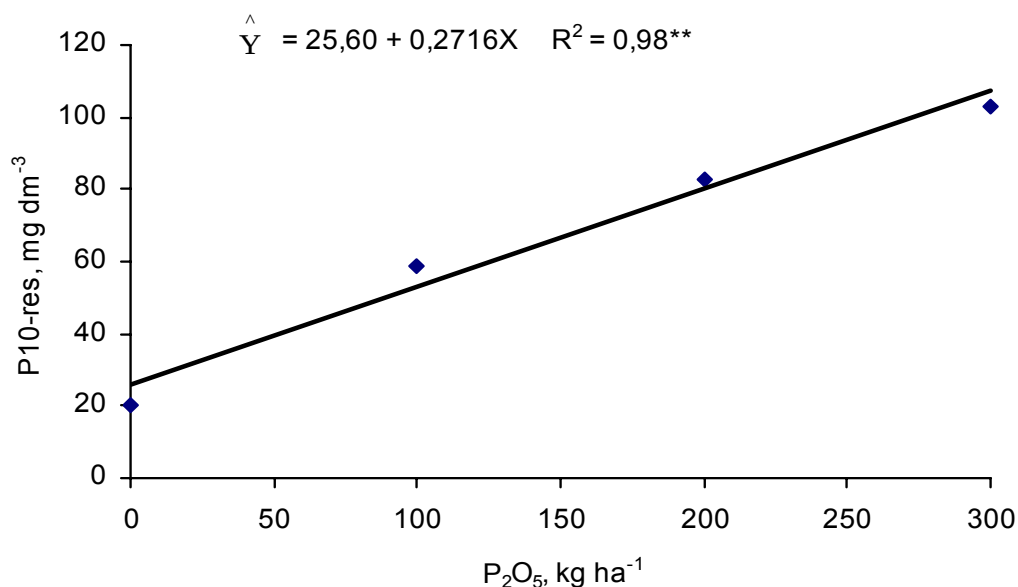


Figura 7 – Teor de P no solo extraído por resina de troca aniônica na profundidade de 0-10cm em função das doses de fósforo.

Para o extrator Mehlich-I, ocorreu interação significativa entre doses, fonte e enxofre (Figura 8). Para o FNR as maiores concentrações de P no solo foram obtidas com a aplicação de enxofre, sendo obtido para a dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a concentração de 88 mg dm⁻³ de P com a adição de S, e sem aplicação de S o teor foi de 68 mg dm⁻³ de P. Efeito contrário foi observado para o SFT, ocorrendo maior disponibilidade de P na ausência de S, onde com a dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ obteve-se teor de 112 mg dm⁻³ de P, enquanto que com aplicação de S o teor foi de 81 mg dm⁻³ (Figuras 8a e 8b).

Stamfort et al. (2004), trabalhando com fosfato natural e enxofre, em um experimento em casa de vegetação, utilizando um solo classificado como Espodossolo Ferrocárbico órtico, de textura arenosa e com baixo teor de P disponível (4,43 mg kg⁻¹), obteve maior teor de P no solo extraído por Mehlich-I no tratamento com fosfato natural e enxofre, apresentando valores superiores aos encontrados com a aplicação de SFT, verificando assim que houve atuação do *Acidithiobacillus* do solo sobre o S aplicado disponibilizando P do FNR no solo. A maior disponibilidade de fósforo do FNR com a adição de enxofre elementar a partir

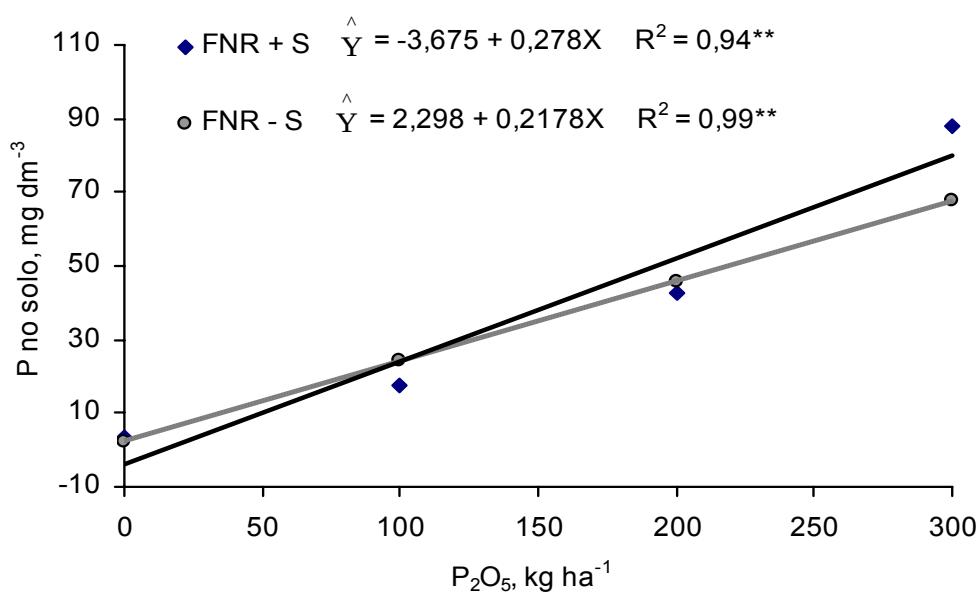
da dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , possivelmente ocorreu em função da oxidação do enxofre por microrganismos do solo, implicando em maior acidificação e liberação de fósforo como observado por Stamford et al. (2004). Uma outra possibilidade seria a menor adsorção de fósforo no solo na presença de S-SO_4^{2-} , embora de acordo com Partiff (1978), na ordem de adsorção, o sulfato estaria em quarto lugar enquanto que o fosfato é preferencialmente adsorvido. Portanto, parece ser mais viável, que a oxidação do enxofre elementar tenha proporcionado maior liberação de fósforo do FNR.

O pH do solo não apresentou diferença quando determinado por CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, para nenhum dos fatores estudados e nem em comparação com o valor inicial. Santos et al. (2000), utilizando tratamentos com fosfato natural revestindo o S inoculado com *Acidithiobacillus* também não observou efeito de acidificação do solo, tendo em vista que o ácido sulfúrico produzido provavelmente atuou na região próxima ao adubo, disponibilizando P do fosfato natural sem reduzir o pH do solo.

Por outro lado Stamford et al. (2004), observaram redução nos valores de pH no solo nos tratamentos com adição de P com uma variação de pH 6,2 para pH 4,8, principalmente nos tratamentos com fosfato natural e enxofre. Estas variações de pH do solo provavelmente tenham sido provocadas pela alta dose de S utilizada, 300 kg ha^{-1} de enxofre, portanto 10 vezes maior do que a dose utilizada no presente trabalho.

Embora seja possível a acidificação do solo através da oxidação do enxofre adicionado, no presente trabalho a dose de 30 kg ha^{-1} não foi suficiente para alterar o pH do solo, pois é uma dose relativamente baixa, e o solo utilizado no experimento apresenta alta capacidade tampão.

(a)



(b)

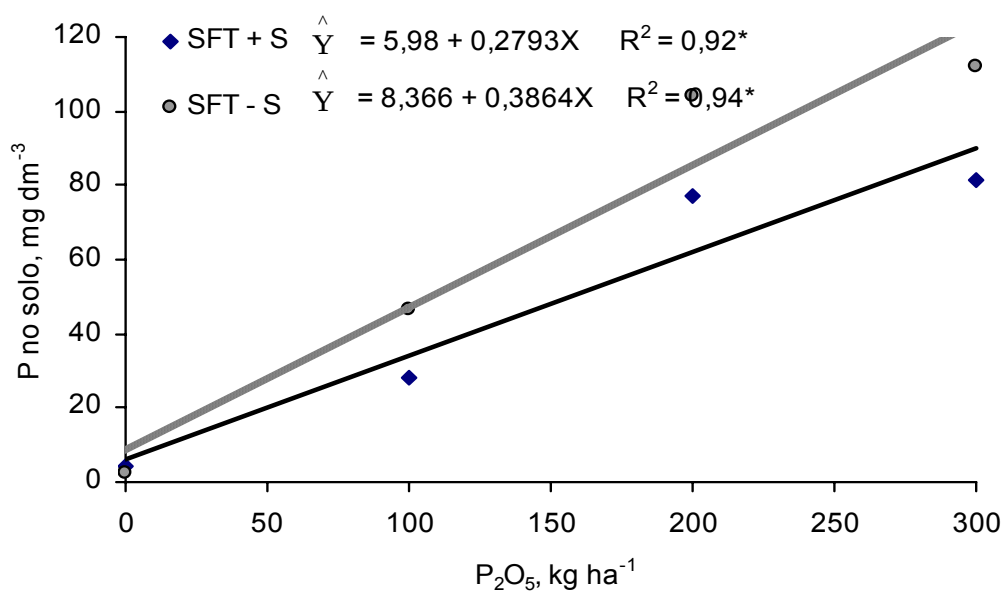


Figura 8 – Teores médios de P no solo extraído por Mehlich-I na profundidade de 0-10 cm em função da aplicação de FNR e adição ou não de S (a) e aplicação de SFT e adição ou não de S (b).

Para teor de P no solo da camada de 0-10cm, extraídos com Mehlich-I de amostras coletadas na linha de plantio, houve interação significativa entre fontes e adição ou não de enxofre elementar, observando-se superioridade para o SFT em ambos os tratamentos com enxofre. Nesta mesma profundidade a aplicação de enxofre não influenciou significativamente o teor de P do solo quando se utilizou o FNR, ocorrendo o contrário para o SFT, o qual apresentou maiores valores de P nos tratamentos sem adição de enxofre. O menor teor de P no solo com a utilização de SFT e adição de enxofre elementar (Tabela 8), provavelmente ocorreu devido a diminuição do pH ao redor do grânulo do adubo, pois a dissociação do SFT reduz o pH nesta região, e com isso aumenta a adsorção de P e a formação de precipitados com Fe^{2+} e Al^{3+} (FIGUEIREDO, 1985). Além disso, a oxidação do enxofre por microrganismos do solo produz H_2SO_4 , contribuindo ainda mais para a queda de pH e aumento da adsorção e formação de precipitados de P. A disponibilidade de P a partir da aplicação de fosfatos solúveis depende, portanto, da reação que controla o suprimento de P para a solução do solo (adsorção química ou precipitação), do pH ao redor do grânulo e do tipo de precipitado de fósforo que predomina em cada solo (ERNANI et al., 2001).

O maior teor de P no solo encontrado com o uso de SFT na camada de 0-10 cm discordam dos resultados encontrados por Stamford (2004), que obteve teor mais elevado de P no solo com o uso de FNR e enxofre em relação ao SFT utilizando o extrator Melich-I. Possivelmente isso tenha ocorrido devido às propriedades físicas do solo, pois o referido autor trabalhou com um solo de textura arenosa, ou seja, com menor fator capacidade para P.

Ao analisarmos os teores de P no solo na profundidade de 10-20cm, observamos que não ocorreu diferença entre as fontes utilizadas nesta profundidade, apenas diferindo quanto a presença e ausência de enxofre para a fonte FNR, onde os maiores teores de P foram encontrados nas parcelas que receberam aplicação de enxofre. Estes resultados novamente indicam que ocorreu a atuação de bactérias do solo sobre o enxofre elementar tornando o P desta camada mais disponível no solo.

Tabela 8- Teor de P no solo extraídos por Mehlich-I nas camadas de 0-10cm e 10-20cm em amostras coletadas na linha de plantio, em função das fontes de fósforo aplicadas no solo e adição ou não de S elementar

Fonte	Com S	Sem S	Média
-----mg dm ⁻³ -----			
0 - 10 cm			
FNR	38,03 Ab	34,96 Ab	36,49
SFT	47,86 Ba	66,33 Aa	57,09
Média	50,64	42,94	
10 - 20cm			
FNR	6,74 Aa	3,97 Ba	5,35
SFT	5,15 Aa	5,98 Aa	5,56
Média	5,95	4,97	

*Letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve efeito significativo de doses de fósforo no teor de P disponível na camada de 10-20cm, proporcionando incrementos no teor de P do solo de 0,024 mg dm⁻³ para quilo de P₂O₅ adicionado ao solo (Figura 9). Estes incrementos podem estar relacionados com a profundidade de distribuição do adubo no sulco de plantio (próximo de 10cm) e com possíveis contaminações das amostras durante o processo de amostragem já que o fósforo no solo é praticamente imóvel.

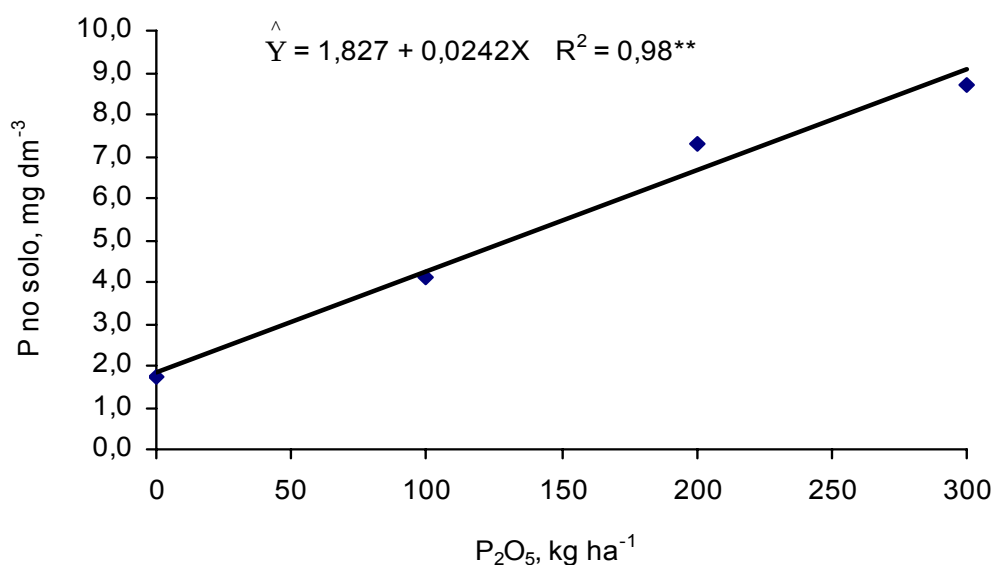
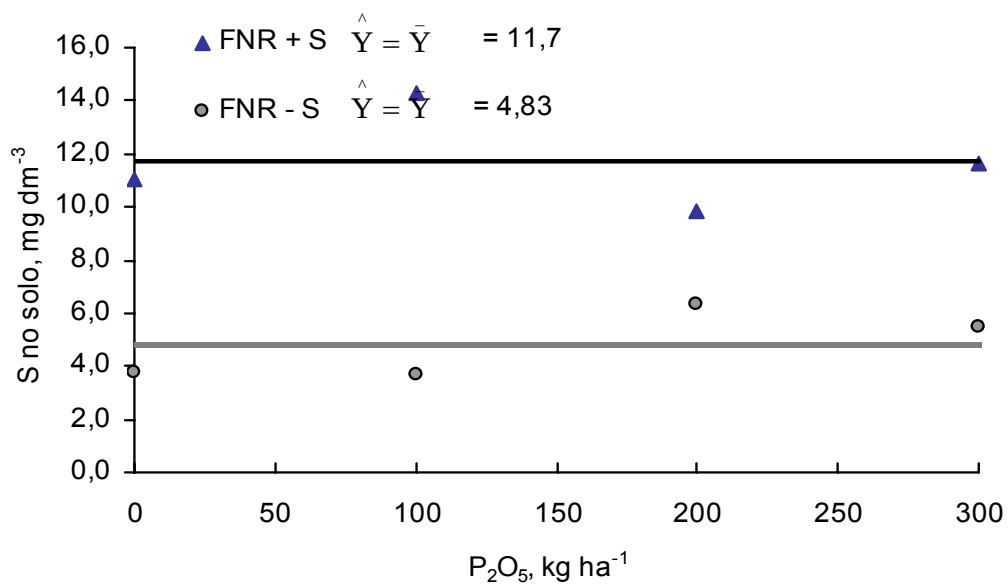


Figura 9 – Teor de P na profundidade de 10 – 20cm extraído por Mehlich-I em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.

O teor de S no solo na camada de 0-10cm apresentou interação significativa entre doses, fonte e enxofre, sendo que com a adição de enxofre a maior média foi obtida com o uso de FNR o qual apresentou um teor médio de S de $11,7 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que com o uso de SFT este teor foi de $10,8 \text{ g kg}^{-1}$. Sem a adição de enxofre o efeito foi contrário, ou seja, maior teor de enxofre disponível foi obtido com o uso de SFT, com média de $5,17 \text{ g kg}^{-1}$, contra $4,83 \text{ g kg}^{-1}$, para o FNR (Figuras 10a e 10b).

(a)



(b)

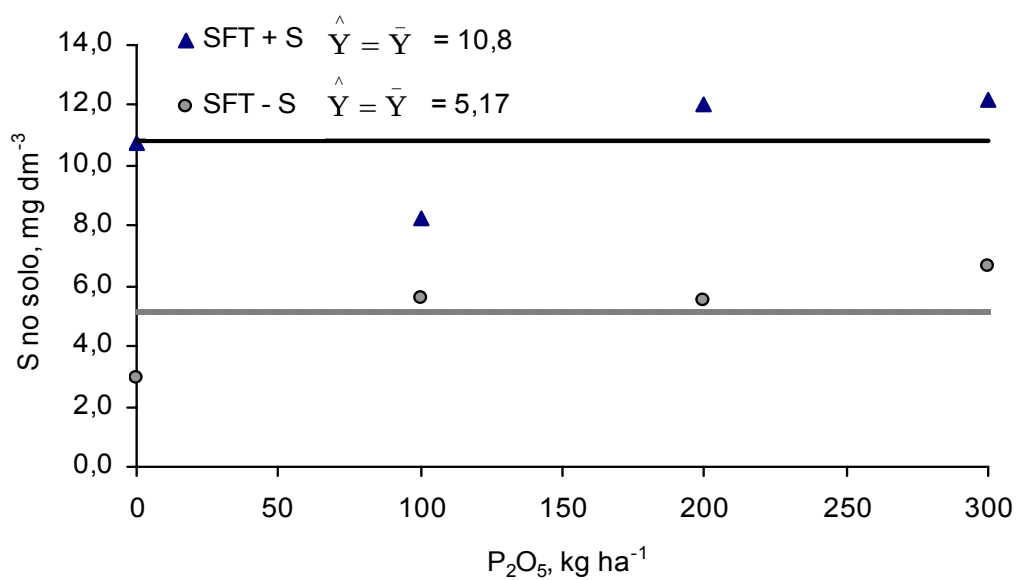
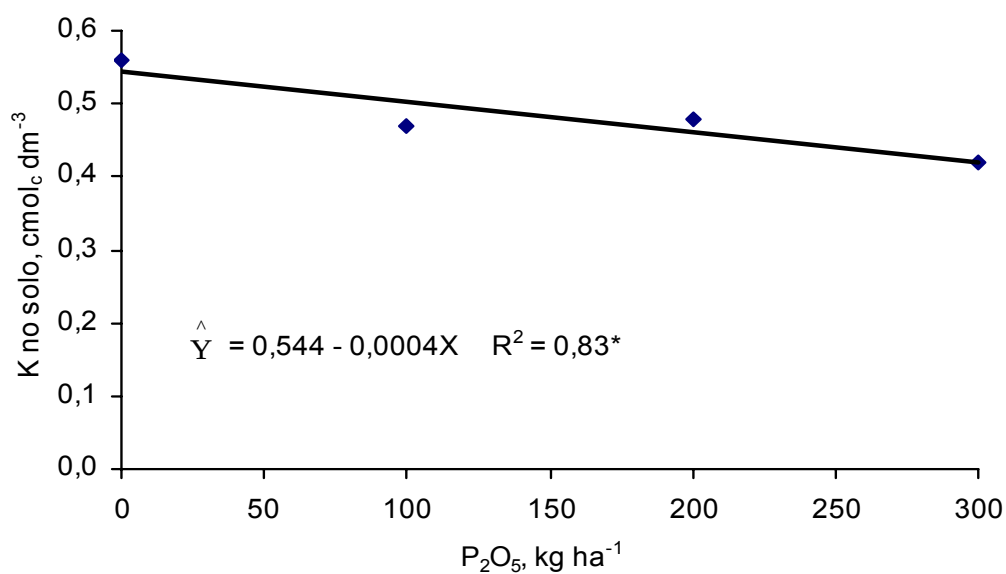


Figura 10 – Teor de enxofre do solo, em função do uso de FNR na presença e ausência de enxofre (a) e em função do uso de SFT e presença e ausência de enxofre (b) na camada de 0-10cm.

O teor de K no solo na camada de 0-10cm decresceu linearmente com o aumento das doses de P_2O_5 , independente da fonte utilizada (Figura 11a). Na camada de 10-20cm ocorreu interação entre doses e fontes de P sobre o teor de K no solo, uma vez que este apresentou um decréscimo linear com o aumento das doses, quando se utilizou o SFT (Figura 11b).

Estes decréscimo no teor de K no solo com o aumento das doses de P_2O_5 provavelmente ocorreu devido a maior absorção de K pelas plantas, pois com a elevação das doses de P as plantas apresentaram um maior crescimento inicial, principalmente quando tratadas com a fonte solúvel de P (SFT). Outra possibilidade seria a formação de um precipitado (Taranakita) devido ao alto teor inicial de K no solo e a altas doses de fósforo da fonte solúvel (SFT), o que, aliado à alta precipitação ocorrida logo após a implantação do experimento, aumentou rapidamente a concentração de P na solução do solo, o qual, reagindo com o K, poderia precipitar e diminuir a disponibilidade de K no solo.

(a)



(b)

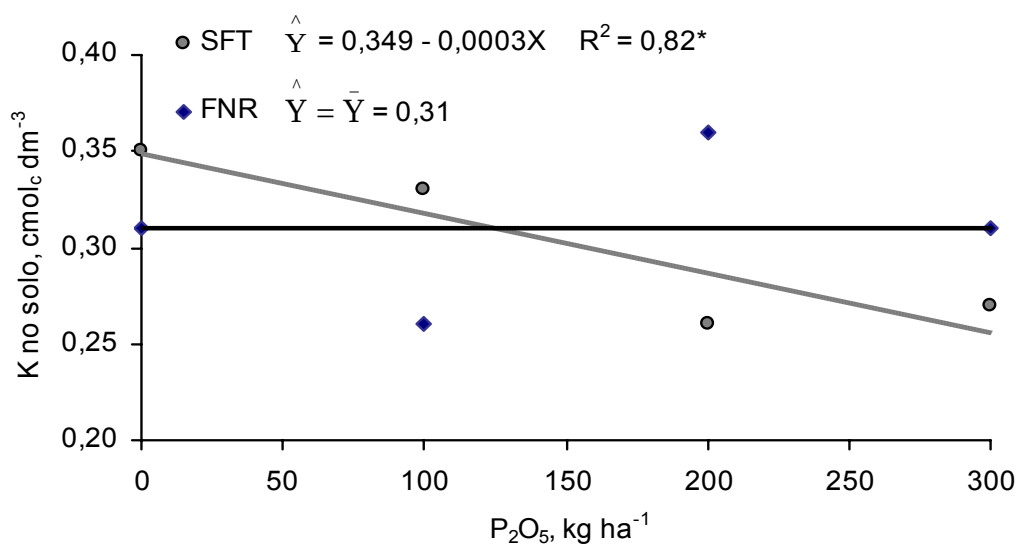


Figura 11 - Teor de K no solo, na profundidade de 0-10cm em função das doses de fósforo (a) e na profundidade de 10 – 20cm (b) em função das doses e fontes de fósforo.

5 CONCLUSÕES

O superfosfato triplo proporcionou maior produtividade de milho em comparação com o fosfato natural reativo.

O índice de eficiência de uso do fertilizante apresentou melhores resultados na presença de enxofre elementar na dose de 100 kg ha^{-1} para ambas as fontes.

A presença de enxofre elementar proporcionou maior índice de eficiência agrônômica do FNR com valor médio de 43 %, já na ausência de enxofre este valor foi de 33%.

A adição de enxofre elementar não afetou o teor de P foliar porém o SFT proporcionou maiores teores de P foliar que o FRN.

O teor de P no solo aumentou com o aumento das doses de P_2O_5 aplicadas nas duas profundidades, para ambas as fontes de fósforo.

A dose de 30 kg ha^{-1} de S elementar não interferiu no pH do solo, mas a sua utilização implicou em maior eficiência da adubação fosfatada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2006: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo : Instituto FNP, 2006, p. 406.

ALEXANDER, M., Introduction to soil microbiology. 2° ed. New York, John Wiley, 1977 In: ALVAREZ V.,V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO Jr, E.S. et al.. **Métodos de análise de enxofre em solos e plantas**. Editora UFV:Viçosa, 2001.

ALVAREZ V.,V. H.; DIAS, L.E. **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. New York, Wiley-Interscience, 1984. 398p In: FERNANDES, M.S. (ed), **Nutrição mineral de plantas** Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa-MG, 2006.

BARRETO, A.C. & FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 151-156, 2002.

BARROW, N.J. **Rection of anions and cátions with variable – charge soil**. **Advances in Agronomy**, 1985. 38:183p.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L. & O'CONNOR, G.A. **Soil Chemistry**. New York. John. Wiley & Sons, Inc., 1985. 341p.

BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A. ; BULISANI, E.A., et al., Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 315-319, 1991.

BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993.

CAMARGO, O.A. & Van RAIJ, B. **Movimento de gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 1989.1 3:275-288p.

CATANI, R.A.; GLORIA, N.A. & VITTI, G.C. **Adsorção de sulfato pelo solo**. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 1971. 28:234-245p.

DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29)

EMBRAPA, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA – SOJA, **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000** – EMBRAPA – SOJA, 1999.

ENSMINGER, L.E. **Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soil**. Soil Science Society America Proc, 1954. 18:259-267p.

ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfato, em dois níveis de acidez, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 939-946, 2001.

FASSBENDER, H.W., **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. San José. Costa Rica. 1978. 398p.

FIGUEIREDO, O.A.R. Reações de superfosfato triplo e de cama de galinha poedeira com um solo Latossolo Bruno. Porto Alegre, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 1985. 85p. (Tese de Mestrado),

FNIE (Fédération Nationale de l'Industrie des Engrais). **La fertilización**. Paris, FNIE. 1974. In: ALVAREZ V.,V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

FORNACIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1992.

FRENEY, J.R. & BOONJAWAT, J. Sulphur transformations in wetland soil. In: BLAIR, G. J. & TILL, A. R., ed. **Sulphur in South –East Asian and South Pacific agriculture**. Armidale, The Australian development Assistance & The Sulphur Institute, 1983. 28-38p.

GIANELLO, C., BISSANI, C.A., TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade de solo**. UFRGS, 1995. 276p

GILLESPIE, A. R. & POPE, P. E., **Rhizosphere acidification increases phosphorus recovery of Black Locust**, Model prediction and measured recovery, 1990; In: NOVAIS, R. F. DE; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. Viçosa – MG: UFV, DPS; 1999.

GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa v.8, n. 1 p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados, In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. Anais... Brasília: Embrapa, 1984. p.206-255. (Documento 14)

GREMILLION, L.R., McCLELLAN, G. H. Evaluation of Phosphatic Raw Materials In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C. KAMPRATH, E. J. 9 (eds). **The Role of Phosphorus in Agriculture**. Madison, America Society Agronomic Inc., 1980. 43-80p. Cap.3

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. *Advances in Agronomy*, 1984. 37:249-315p.

HINGSTON, F.J. ATKINSON, R.L. POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. Specific adsorption of anions. *Nature*, 1967. 215:1459-1461p.

HOROWITZ, N, Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil, Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003; In: **POTAFOS, Informações Agronômicas N°112**, dezembro/2005.

KAMINSKI, J. PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais em sistemas de cultivo. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, Boletim Técnico nº 3, 31p, 1997.

LUCHESE, E.B. et al. **Fundamentos da química do solo**, ed. Freitas Bastos – Rio de Janeiro, 2001.

MACHADO, C.T.T.; GUERRA, J.G.M.;ALMEIDA, D.L. & MACHADO, A.T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. *Bragantia*, 58:109-124, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, Associação Brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato – POTAFOS, Piracicaba, p.319. 1997.

METSON, A.J., **Sulphur in new Zealand soils**. J. Agric. Res. 1979 In: ALVAREZ V.,V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAIS, L.A.C. Eficiência de fontes de fósforo na alfafa e centrocema cultivadas em Latossolo Amarelo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.10, p.1459-1466, out. 2002.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L. Nutrição e adubação. In. **O Milho no Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1982. (IAPAR – Circular,29).

NOR. Y.M. & TABATABAI, M.A. Oxidation of elemental sulphur in soils. *Soil Sci. Am. J.*, 1977; In: ALVAREZ V.,V. H.; DIAS, L.E. **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

NOVAIS, R. F. DE; SMYTH,T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**.Viçosa – MG: UFV,DPS; 1999.

NEPTUNE, A.M.L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L.C. & SOUZA, E.A. Efeitos de doses não eqüidistantes de N, P, K, nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho, **Anais ESALQ**, 39:917-941,1982.

PARFITT, R. L. **Anion adsorption by soils and soil materials**. *Adv. Agron.*, 30:1-50, 1978.In: ALVAREZ V.,V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

PAULETTI, V. Nutrientes: teores e interpretações. 2 ed., Castro – PR, 2004. 86p.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S. Fosfato natural reativo deve ser usado no inverno? EMBRAPA, Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira. **Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT)**. <http://www.cnpt.embrapa.br>., notícia 027, 20/06/2002.

PERYEA, F.J. Phosphate-fertilizer-induced salt toxicity of newly planted apple trees. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:1778-1783, 1990 In: PRADO et al., Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 83-90, 2001.

PIAIA, F.L.; REZENDE, P.M.; FURTINI NETO, A.E. et al., Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturação por bases na cultura da soja [Glicine Max (L.) MERRILL], **Ciencia agrotec.** Lavras, v.26, n°3, p.488-499, 2002.

PRADO, R.M; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 83-90, 2001.

PROBERT, M.E., **Effect of soil forming processes on the distribution of sulfur in soils**. In: ALVAREZ V.,V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.

RAIJ, B.V., **Fertilidade do solo e adubação**, Piracicaba : Ceres, Potafos, São Paulo, 1991.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G., **Phosphate rocks for direct application to soils**. San Diego, Adv. Agron., v.57, 78-159 p., 1996.

ROBINSON, J.S. ; SYERS, J.K. & BOLAN , N. S. **A simple conceptual model for predicting the dissolution of phosphate rock in soils**. J. Sci. Food Agric., 64:397-403. 1994.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F.P. Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, *Medicago sativa L.*, **Acta Scientiarum**, Maringá-PR, v.24, n. 4, p. 1155-1161, 2002.

SAMPLE, E.C. et al., Reaction of phosphate fertilizers in soils. In: NOVAIS, R. F. DE; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. Viçosa – MG: UFV, DPS; 1999.

SANYAL, S.K. & De DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Adv. Soil Sci., 16:1-120, 1991. In: NOVAIS, R. F. DE; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. Viçosa – MG: UFV, DPS; 1999.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais na região dos cerrados, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: SBSC, 1999b. 1 CD-ROM.

SOUZA, E.C.A.; COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; BARBOSA, J.C. Resposta do milho à adubação com fósforo e zinco, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1031-1036, 1998.

SOUZA, A.E., **Balanco Mineral Brasileiro**, 2001 <http://www.dnpm.gov.br>, acessado em novembro de 2005

STAMFORD, N.P.; MOURA, A.M.M.F.; SANTOS, K.S. & SANTOS, P.R. Atuação de Acidithiobacillus na solubilização de fosfato natural em solo de tabuleiro cultivado com Jacatupé. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 75-83, 2004.

SIDDIQI, M.Y. & GLASS, D.M., Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **J. Plant Nut.**, 4: 289-302, 1981.

STANGEL, P.J.E., et al., **IFCD's effectors to improve efficiency of fertilizer use**. New Delphi, India, 1979. In: **Fertilizer Association of India (FAI)**, Annual Seminar, 58p.

STARKEY, R.L., **Oxidation and reduction of sulfur compounds in soils**, Soil sci., 1966 In: ALVAREZ V., V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV: Viçosa.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985.

TYNEY, E.H. & WEEB, J.W. The relation of corn yields to nutrient balance as revealed by leaf analysis. J. Am. Soc. Agron., 38:173-185, 1946. In: PRADO et al., Resposta da cultura

do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 83-90, 2001.

VIÉGAS, R. A., **Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991.

WAINWRIGHT, M., Sulfur oxidation in soils. Adv. Agron. 1984 In: ALVAREZ V., V. H. et al., **Enxofre : Módulo IX**. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Editora UFV:Viçosa.