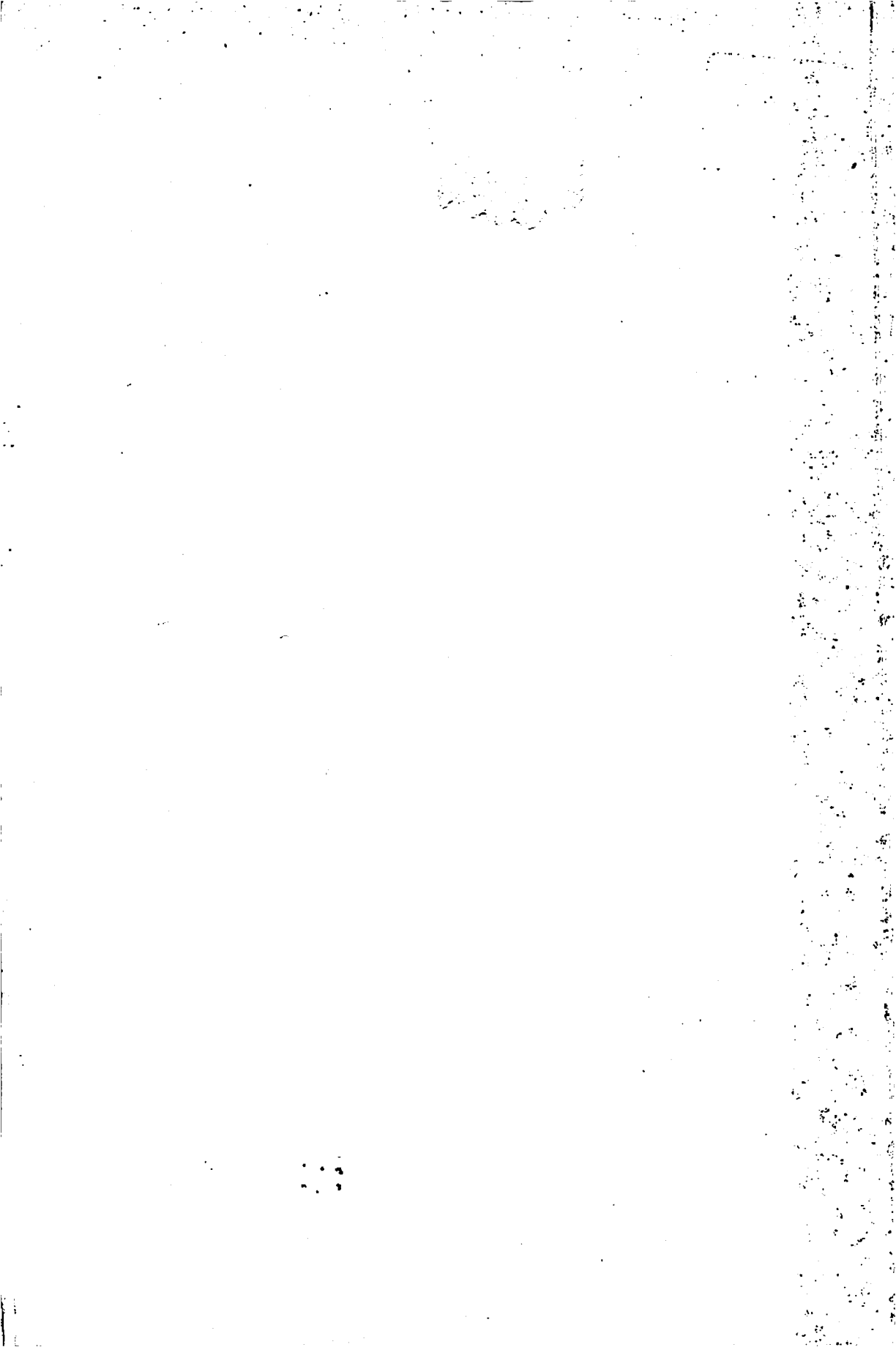




**FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE
FÓSFORO NA PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO
MINERAL DO MILHO EM PRIMEIRO
CULTIVO**

IVÂNIA BARBOSA ARAÚJO

2001



IVÂNIA BARBOSA ARAÚJO

**FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO EM PRIMEIRO
CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof.^o Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2001

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Araújo, Ivânia Barbosa

**Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em
primeiro cultivo / Ivânia Barbosa Araújo.—Lavras : UFLA, 2001.**

76 p. : il.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

**I. Milho. 2. Nutrição mineral. 3. Fósforo. 4. Manejo. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.**

CDD-633.15895

IVÂNIA BARBOSA ARAÚJO

**FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA PRODUÇÃO E
NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO EM PRIMEIRO CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de plantas, para obtenção do título de "Mestre"

APROVADA em 09 de novembro de 2001

Prof. Dr. Valdemar Faquin

UFLA

Prof.ª Dr.ª Janice Guedes de Carvalho

UFLA



Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A minha mãe, Ivani,
pelo exemplo de força, otimismo e caráter,

DEDICO

A Deus,
por não me deixar desanimar diante das dificuldades inerente à
vida terrestre,

OFEREÇO

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto,
pelas orientações irrestritas, incentivos, apoio
incondicional, amizade, paciência e conhecimentos transmitidos, e
também pelo exemplo profissional como indivíduo, educador e
pesquisador, minha profunda admiração e gratidão,

O MEU SINCERO RECONHECIMENTO

HOMENAGEM

**Ao amigo Flávio Pereira "*in memoriam*",
pela sua simplicidade e amizade minha eterna
gratidão e carinho.**

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade que contribui para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Milho e Sorgo-CNPMS, em especial a Dra. Vera Maria Carvalho Alves, Dr. Carlos Alberto Vasconcellos e Dr. Gilson Villaça Excel Pitta, pelo apoio.

À Serrana Fertilizantes, na pessoa do Dr. Sérgio Decaro, à Fertilizantes Ouro Verde, na pessoa do Dr. José Narciso Estevam e à Fertilizantes Mitsui, na pessoa do Dr. Fumio Matsuda, pela cessão dos fertilizantes para a instalação do experimento.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pela amizade, dedicação, incentivo e orientação.

Ao Prof. Dr. Valdemar Faquin, pela valiosa contribuição e sugestões.

À Prof. Dra. Janice Guedes de Carvalho, pelas sugestões e disponibilidade.

Ao Prof. Álvaro Vilela de Resende, pela amizade, disponibilidade, atenção e contribuição nesse trabalho.

Ao Prof. João José, pela disponibilidade, atenção e carinho.

Ao Sr. José Resende e seus filhos José Aquino, Aurélio e Ângelo, pela disponibilização da área e auxílio na instalação e condução do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo - UFLA, em especial à Adriana e Leninha, pela paciência e carinho, ao Pezão e Daniel, pela colaboração e amizade, aos colegas Álvaro, Breno, Felipe, Ivan, José Zilton, Leonardo e Túlio, pelo auxílio na condução do experimento, e aos amigos Cafu, Cláudio, Elka, Enia, Fernando Corte, Graciela, Isabel, Ivan, Jones, Juliano, Júlio, Larissa, Luciene, Magnólia, Mari, Regina, Rubens, Serginho, Tadário e Totó, pelo carinho, amizade, apoio e atenção.

Aos familiares, pelo carinho e apoio, em especial à minha mãe, Ivani, pela dedicação, compreensão e carinho sempre demonstrados.

Ao meu avô Domingos Parrião "*in memortian*", por minhas recordações de sua força e caráter e pelo exemplo de vida inesquecível.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 O papel do fósforo no desenvolvimento das plantas.....	3
2.2 Influência do manejo na eficiência da adubação fosfatada.....	4
2.3 Características dos fertilizantes fosfatados.....	7
2.3.1 Fertilizantes fosfatados solúveis.....	7
2.3.2 Termofosfato magnésiano.....	8
2.3.3 Fosfatos naturais	9
2.3.3.1 Fosfatos naturais nacionais.....	10
2.3.3.2 Fosfatos naturais importados.....	10
2.4 Eficiência de uso de fósforo.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Delineamento experimental e tratamentos.....	14
3.2 Plantio, condução do experimento e dados pluviométricos no período experimental.....	17
3.3 Avaliações do experimento.....	18
3.4 Análise estatística.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Teores e acúmulo de nutrientes na planta.....	22
4.1.1 Teores foliares de nutrientes no florescimento	22
4.1.2 Teores de nutrientes na planta ao final do ciclo.....	25
4.1.3 Acúmulo de nutrientes no milho.....	29

4.2 Variáveis de Produção.....	35
4.2.1 Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA).....	35
4.2.2 Número de espigas.....	37
4.2.3 Peso de espigas e produção de grãos.....	39
4.3 Eficiência nutricional para fósforo.....	43
4.4 Eficiência relativa das fontes fosfatadas.....	49
5 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Principais atributos químicos e físicos do solo (0-20 cm de profundidade) antes da aplicação dos tratamentos.....	15
2	Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.....	16
3	Principais atributos químicos do solo (0 - 20 cm de profundidade), aos 25 dias após a aplicação dos tratamentos.....	19
4	Índices de eficiência nutricional avaliados.....	20
5	Teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) no florescimento do milho sob diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	22
6	Teores foliares de micronutrientes (mg kg^{-1}) no florescimento do milho sob diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	23
7	Teores de P (g kg^{-1}) em folhas de milho ao final do ciclo em função do fornecimento do nutriente na adubação.....	25
8	Teores de P (g kg^{-1}) em folhas de milho ao final do ciclo em função do modo de aplicação do nutriente.....	26
9	Teores de P (g kg^{-1}) em palha e nos grãos de milho ao final do ciclo em função de fontes e modos de aplicação do nutriente.....	27
10	Conteúdo de P (kg ha^{-1}) na planta de milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	30
11	Conteúdo de Zn (g ha^{-1}) na planta de milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	32

12	Relação de teores P/Zn na planta de milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	34
13	Produção de matéria seca da parte aérea (kg ha ⁻¹) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.....	35
14	Número de espigas (espigas ha ⁻¹) em função do modo de aplicação de fertilizantes fosfatados para o milho.....	38
15	Número de espigas (espigas ha ⁻¹) em função de fontes de fósforo para o milho.....	39
16	Peso de espiga (kg ha ⁻¹) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.....	40
17	Produção de grãos (kg ha ⁻¹) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.....	40
18	Índices de eficiência (kg kg ⁻¹) a fósforo para o milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação do nutriente.....	44
19	Eficiência relativa das variáveis analisadas em relação a testemunha (sem fósforo).....	50

RESUMO

ARAÚJO, Ivânia Barbosa. Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em primeiro cultivo. Lavras: UFLA, 2001. 76 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)

A carência de fósforo nos solos brasileiros e o elevado custo dos fertilizantes fosfatados justificam a busca por alternativas que promovam o aumento da eficiência desses fertilizantes. Assim objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes fosfatadas e o efeito do manejo dessas na eficiência do uso de fósforo e na produção de grãos no primeiro ano de cultivo do milho. Foi realizado um estudo em condições de campo em um Argissolo Vermelho típico, textura argilosa, sob vegetação de cerrado e com baixa disponibilidade de P. Os tratamentos constituíram-se das fontes de fósforo: superfosfato triplo (ST), termofosfato magnésiano (TM), fosfato reativo Arad (FR) e fosfato de Araxá (FA), aplicadas a lanço em área total e no sulco de plantio, na dose 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , considerando-se o teor total de P_2O_5 das fontes. O delineamento foi em blocos casualizados, arranjado em um fatorial 4×2 com tratamento adicional (testemunha - sem P). Para avaliar o efeito dos tratamentos foram analisados os teores foliares dos nutrientes no florescimento e ao final do ciclo da cultura, além da produção de matéria seca, espigas e grãos e índices de eficiência de uso do nutriente. As fontes e modos de aplicação de fósforo influenciaram a produção de matéria seca e de grãos do milho. As fontes mais solúveis (ST e TM) proporcionaram melhor resposta quando aplicadas em área total, enquanto o FR foi mais eficiente em aplicação localizada, sendo o FA a fonte com pior desempenho. O uso de ST no sulco de plantio na dose aplicada comprometeu a produtividade da cultura provocando desordens metabólicas devido à interação P x Zn. O genótipo de milho foi eficiente em utilizar o P absorvido, notadamente nos tratamentos com menor disponibilidade do nutriente no solo (FA e testemunha).

Comitê orientador: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Orientador)
Prof. Valdemar Faquin - UFLA
Prof. Álvaro Vilela de Resende - UFLA

ABSTRACT

ARAÚJO, Ivania Barbosa. Sources and application options of phosphorus in the yield and mineral nutrition of a first crop of maize. Lavras: UFLA, 2001. 76p. (Dissertation – Master in Soil Science and Plant Nutrition).*

The low content of P in Brazilian soils and the high cost of P fertilizers justify the search for alternatives to increase the efficiency of these fertilizers. It was aimed in this study to evaluate the effects of different P sources and different application options in the efficiency of P utilization by plants and grain yields in the first year of cultivation of maize. We performed our study in field conditions on a clayey Typical Red Argisol under cerrado vegetation and with low P availability. The treatments were: triple superphosphate (TS), magnesium termophosphate (MT), Arad reactive phosphate (RP), and Araxá phosphate (AP). Those were applied broadcasted on the whole area and in the seeding line. All fertilizers were applied at the rate of 180 kg P₂O₅ ha⁻¹, based on the total P₂O₅ content of each fertilizer. The experimental design was randomized blocks, with a 4-x-2 factorial and an additional treatment (check, without P). We measured the leaf nutritional content at the flowering and at harvest, the accumulation of nutrients, dry matter production of spikes and grains, and nutrient utilization efficiency. The P sources and application options influenced dry matter production and grain yield. The most soluble sources, TS and MT, provided the best responses when broadcasted whereas RF was the most efficient when applied in the seeding line. The AP showed the poorest performance. Using TS concentrated in the seeding line, at the dose we applied, decreased yields, probably because of metabolic disorders due to the P and Zn interaction. The maize genotype was efficient at using the absorbed P, particularly in the treatments with low nutrient availability in the soil (AP and check).

* Guidance Committee: Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA (Adviser)
Prof. Valdemar Faquin - UFLA
Prof. Álvaro Vilela de Resende - UFLA

1 INTRODUÇÃO

As limitações relacionadas à baixa fertilidade natural dos solos sob cerrado têm motivado a busca de soluções que potencializassem sua utilização como fronteira agrícola. No que diz respeito ao fósforo, a interação entre esse nutriente e a fração coloidal do solo, em especial os óxidos de ferro e de alumínio, conduz à necessidade da utilização de grandes quantidades de fosfato para recuperar a fertilidade desses solos (Novais, 1981).

Considerando que os fosfatos são recursos naturais não renováveis, escassos e sem sucedâneo, a busca de soluções alternativas que permitam o aproveitamento racional das reservas de rochas fosfáticas, representa um aspecto importante para a agricultura brasileira (Brasil, 1994).

A escolha da fonte de fósforo a ser utilizada com o objetivo de suprir a carência desse nutriente está relacionada tanto à eficiência em suprir as necessidades das plantas, quanto ao custo do fertilizante (Brasil, 1994). Os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados, embora possuam elevado custo, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agronômica, especialmente para culturas anuais (Godert & Lopes, 1987). Alguns fatores relacionados ao manejo agronômico podem contribuir para uma maior disponibilização e aproveitamento do fósforo oriundo dessas fontes (Novais *et al*, 1985; Fageria, 1998a; Lopes, 1999; Novais, 1999).

A eficiência na utilização dos fosfatos é variável em função das características do próprio fertilizante, do solo e do manejo empregado, além da espécie vegetal em questão. A solubilidade e a composição química das fontes de P afetam sobremaneira sua eficiência, já que influenciam diretamente as reações dos fosfatos no solo (Engelstad & Terman, 1980).

A principal preocupação no manejo de fertilizantes objetivando aumentar sua eficiência, é a criação de condições para melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Silva & Souza, 1998). O método de aplicação do fósforo apresenta grande importância, principalmente em solos com baixo teor desse nutriente e que possuem alta capacidade de fixação, caso típico dos solos de cerrado.

Entre as estratégias propostas por Salinas & Sanchez (1976) para contornar o problema do fósforo nos trópicos, além da determinação de métodos mais eficientes de aplicação do fertilizante e da pesquisa de fontes alternativas, estão a seleção e uso de espécies e variedades mais tolerantes a baixos níveis de fósforo. A integração de sistemas de manejo e nutrição de plantas é importante para promover o rendimento potencial das culturas em solos de baixa fertilidade (Baligar & Fageria, 1997). A produtividade do milho é bastante dependente de um adequado manejo dos fertilizantes (Machado, 1995; Alves, 1998).

Apesar de inúmeros estudos existentes sobre o manejo da adubação fosfatada, ainda permanecem dúvidas, principalmente quanto à aplicação direta dos fosfatos naturais, importados e nacionais. Esse aspecto tem sido motivo de controvérsias entre os pesquisadores.

Com este trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da adubação com fontes fosfatadas em diferentes modos de aplicação na produção e nutrição mineral de um genótipo de milho em primeiro cultivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O papel do fósforo no desenvolvimento das plantas

O fósforo é o componente-chave de moléculas, tais como, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e ATP (adenosina trifosfato), fazendo-se necessário um suprimento adequado às plantas (Schachtman, Reid & Ayling, 1998). É por meio da energia na forma de ATP que há fotossíntese, absorção ativa de nutrientes do solo, germinação da semente e síntese de compostos orgânicos. Em quantidades adequadas, o P estimula o desenvolvimento radicular, sendo essencial à boa formação de sementes, incrementando a precocidade da produção. Sua deficiência tem influência drástica na produção agrícola, causando a formação de grãos chochos (Raij, 1991).

O P é um dos nutrientes mais limitantes à produtividade das lavouras de milho no Brasil, sendo comumente observadas marcantes respostas à adubação fosfatada (Raun & Barreto, 1995; Baligar & Fageria, 1997; Fageria, 1998).

Segundo Mengel & Barber (1974) e Amon (1975), um suprimento adequado de P prontamente disponível é de grande importância para a cultura do milho durante os estádios iniciais de desenvolvimento, quando o sistema radicular ainda não é capaz de extrair o suficiente de reservas do solo. Esses autores relatam que o milho acumula o P durante todo o ciclo, com a máxima absorção ocorrendo entre a terceira e a sexta semanas. Havendo deficiência, os sintomas se manifestam já nos primeiros estádios de desenvolvimento, por um crescimento retardado das plantas, com aparecimento de uma coloração vermelho-arroxeadada típica nas folhas velhas e colmos.

Na fase reprodutiva, a máxima concentração de P ocorre nas espigas, nas quais o nutriente está ligado ao metabolismo dos carboidratos, lipídeos e

proteínas que são armazenados nos grãos (Muzilli & Oliveira, 1982). A falta do nutriente provoca a formação de espigas defeituosas, tortas e com falhas nas fileiras de grãos, bem como o processo de maturação é retardado e desuniforme.

2.2 Influência do manejo na eficiência da adubação fosfatada

A deficiência de fósforo é uma das limitações mais comuns aos cultivos em solos da América tropical, onde cerca de 82% dessa área é naturalmente deficiente em fósforo (Sanches & Salinas, 1981). No Brasil, aproximadamente 572 milhões de ha de terras apresentam essa deficiência, correspondendo a 68% da superfície do território nacional (Cochrane, 1982, citado por Guerra, 1993).

Em solos mais intemperizados, na fração argila, há predominância de minerais à base de ferro, alumínio e silício (Fassbender, 1978; Raij, 1991), Grande parte do P aplicado é fixado pelos óxidos hidratados amorfos de ferro e alumínio e, em menor extensão, retido pelos látices dos minerais cristalinos, tais como gibbsite, goetite, caulinite e montmorilonite (Baligar & Fageria, 1997; Willet, Moody & Blamey, 1998), passando gradualmente a fosfato não-lábil, praticamente não-trocáveis (Goedert & Sousa, 1986).

Esse comportamento tem justificado a necessidade de aplicações de fertilizantes fosfatados em quantidades superiores às exigidas pelas plantas para satisfazer a exigência do solo através da saturação de seus componentes consumidores de P (Raij, 1991; Machado, 1995).

Em relação ao manejo, destaca-se que a localização do fósforo no sulco aumenta a relação de fósforo aplicado por volume de solo na área adubada, mas reduz a proporção de raízes da planta que poderiam absorver esse nutriente (Pacheco *et al.*, 1998). Goedert e Sousa (1986), avaliando a eficiência de fertilizantes fosfatados, observaram que a aplicação a lanço e incorporação na camada arável resultou em maior contato com o solo, e propiciou maior volume

de solo para as raízes das plantas absorverem nutrientes e água, o que implica, dependendo da dose aplicada e das condições climáticas, maiores produtividades quando comparadas às adubações em sulco. A aplicação a lanço promove maior rendimento que a localizada, pois proporciona maior desenvolvimento radicular, condição fundamental para aumentar a resistência das plantas durante os veranicos (Fageria, 1998a).

Lana (1988) também indica que a localização correta do fertilizante fosfatado em relação a planta pode ser fator importante na magnitude da resposta da cultura à aplicação do fertilizante e, por conseguinte, elevação na produção agrícola. A localização de um fertilizante em relação a planta deve ser considerada como fator importante de resposta das culturas. Altas produtividades de milho em solos pobres em P disponível são obtidas quando se aplica adubação a lanço, pois é preciso o contato do P com o maior volume possível de raízes para conseguir absorção desse nutriente e maiores produtividade de milho em condições campo (Cantarella & Rajj, 1979).

Recentemente, têm havido questionamentos em relação à localização do fertilizante fosfatado. De acordo com Novais & Smyth (1999), em condições tropicais, a fixação de fósforo requer a aplicação localizada desse nutriente como solução econômica. Neste contexto, doses pequenas de P deverão ser mais eficientes em suprir esse nutriente às plantas quando aplicadas localizadamente, o que não significa que esse suprimento seja satisfatório, como seria se grande dose de P fosse aplicada em todo o volume de solo disponível para o crescimento radicular.

O modo de aplicação pode influenciar na eficiência de uso do fósforo e a aplicação localizada tem sido sugerida como mais eficiente para os fertilizantes de alta solubilidade, como o superfosfato triplo (Novais & Smyth, 1999).

Conforme Novais (1999), deve-se pensar em aplicar fosfatos naturais de baixa ou mediana reatividade, igualmente às fontes solúveis, localizadamente,

em virtude do menor contato com o solo, sendo a planta o único dreno envolvido na solubilização e aquisição de fósforo.

Em estudos utilizando fosfatos naturais, foi demonstrado que as condições que favorecem maior solubilização geralmente reduzem a disponibilidade de fósforo proveniente dessas fontes (Novais & Smyth, 1999). Nesse contexto, a utilização dos fosfatos naturais de forma localizada vem sendo proposta recentemente, como forma a reduzir o contato do P solubilizado com o solo (Novais *et al.*, 1985; Novais *et al.*, 1999).

Avaliando o efeito dos níveis de P e o comportamento de fosfatos naturais aplicados a lanço e no sulco, na cultura do feijoeiro, Pinto (1979) observou que na produção de grãos a resposta aos níveis de P foi linear, em consequência provavelmente das reações de fixação ao solo. Quanto às fontes, o superfosfato triplo aplicado no sulco apresentou melhor desempenho, já os fosfatos naturais não apresentaram diferença significativa quanto ao manejo, e aplicado a lanço, apresentaram eficiência agrônômica de 63%, e no sulco, 68%.

Appleton (1992), trabalhando com fosfato natural de alta reatividade, demonstrou que sua eficiência é maior em aplicação localizada quando comparada à aplicação a lanço. Assim, uma maior quantidade de P estará disponível na zona radicular, minimizando a adsorção pelos óxidos de Fe e Al nos solos com alta capacidade de adsorção, o que tornaria o P relativamente indisponível às plantas.

Porém, Lopes (1999) afirma que a eficiência tanto dos fosfatos naturais não-reativos quanto dos reativos é muito baixa, para aplicações no sulco no primeiro ano de cultivo, tendendo a aumentar com as práticas normais de preparo do solo em sistemas de agricultura convencional. Também Soares *et al.* (2000) citam que a incorporação do fosfato natural reativo é essencial ao incremento da sua eficiência. Esses últimos autores relatam que, com incorporação, sua eficiência foi similar à do superfosfato triplo, sem

incorporação, a eficiência do supertríplo foi significativamente superior à do fosfato reativo.

É necessário conhecer as condições nas quais as fontes fosfatadas possam demonstrar melhor seu potencial (Godert, Sousa & Rein, 1986; Appleton, 1992), porque, em princípio, os mesmos manejos não podem ser aplicados a diferentes fontes de fósforo com características físicas e químicas distintas (Mutert & Sri Adiningsih, 1998).

2.3 Características dos fertilizantes fosfatados

2.3.1 Fertilizantes fosfatados solúveis

No Brasil, os fertilizantes fosfatados mais produzidos são os solúveis, que apresentam alta capacidade de liberar fósforo para as plantas normalmente, com alta eficiência agronômica, constituindo excelentes fontes de fósforo. No entanto, possuem algumas limitações no âmbito industrial, como tecnologia relativamente complexa, necessidade de enxofre (mais de 80% do enxofre consumido é importado) e de concentrados fosfáticos com poucas impurezas. Aproximadamente 40% do P_2O_5 extraídos das jazidas é são perdidos na fase de concentração do minério e eliminação de impurezas (Goedert & Lopes, 1987).

A eficiência dos fertilizantes fosfatados de alta solubilidade, como o superfosfato triplo, no primeiro ano após a aplicação, fica em torno de 10-30%, sendo difícil manter o fósforo disponível às plantas, devido às ligações químicas que esse nutriente mantém com o cálcio, alumínio e ferro, formando compostos que praticamente não se movimentam (Tisdale, Nelson & Beaton, 1985). A intensidade dessas reações é diretamente proporcional ao volume de solo com o qual o adubo reage (Goedert & Sousa, 1986).

2.3.2 Termofosfato magnesiano

A utilização de termofosfato tem sido relatada como uma das melhores alternativas na obtenção de fertilizantes que proporcionem disponibilidade satisfatória de fósforo às culturas. O processo tecnológico para obtenção do termofosfato não apresenta restrições quanto à pureza da matéria-prima empregada, além do que o seu processamento é baseado em insumos nacionais de grande disponibilidade. Os termofosfatos apresentam também efeitos benéficos, como a elevação do pH e dos teores de Ca, Mg, Si e alguns micronutrientes (Goedert & Lopes, 1987; Lopes, Goedert & Guilherme, 1991; Raj, 1991; Brasil, 1994).

Dentre as vantagens desse fertilizante, além do teor de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico em torno de 19 % e da reação alcalina, cita-se a presença de bom teor de MgO. A absorção de fósforo é estimulada pela presença de magnésio, por diminuir significativamente o valor de Km no mecanismo que opera em baixas concentrações de fósforo no meio (Goedert & Lopes, 1987). Teores significativos de SiO_2 na forma de $CaSiO_3$ no termofosfato desempenham importante papel na efetividade dos fosfatos, por reduzir a adsorção de fósforo (Lopes, Vasconcelos & Novais, 1982), pelo fato de o silicato competir com $H_2PO_4^-$ por sítios de adsorção na argila e nos óxidos de ferro e de alumínio (Malavolta & Ponchi, 1987; Baldeón, 1995).

Essas características são responsáveis pela boa eficiência desses produtos em comparação com os superfosfatos quando aplicados em solos ácidos (Baldeón, 1995). Estudos têm demonstrado que os termosfosfatos podem proporcionar produções de 12 a 45% superiores aos superfosfatos, provavelmente em consequência da combinação dos fatores mencionados (Goedert & Lopes, 1987).

2.3.3 Fosfatos naturais

Os fosfatos naturais englobam uma diversidade de minerais fosfatados de diferentes origens e composição química. São concentrados apatíticos obtidos diretamente de jazidas. O grupo de maior importância econômica é o do fosfato de cálcio constituído de apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{X}_2$), em que X pode ser flúor, cloro, hidroxila ou carbonato. Os minerais apatíticos formaram-se sob diferentes regimes geológicos e sofreram distintas ações de intemperização (Rheinheimer, Gatiboni & Kaminski, 2001).

A eficiência dessas fontes para a aplicação direta como fertilizantes é dependente da facilidade de solubilização das mesmas, devendo-se considerar os fatores que influenciam essa eficiência: a reatividade química, tamanho das partículas e porosidade do material, os atributos do solo (pH, teores de cálcio e magnésio, capacidade de troca de cátions, capacidade de adsorção de fósforo e características físicas que controlam a umidade do solo), os requerimentos da cultura em fósforo e cálcio, as características do sistema radicular e as condições climáticas locais (Braga, 1970; Appleton, 1992; Sousa *et al.*, 1999).

Além dos fatores acima citados, Chien, León & Tejada (1980) consideram a contribuição de cada um dos produtos de dissolução (Ca^{+2} , H_2PO_4^- e OH^-), e geralmente, o dreno de Ca^{+2} tende a ser mais efetivo na dissolução dos fosfatos de rocha do que o dreno de P. Kirk & Nye (1986), citado por Bolan *et al.* (1997), afirmam que a dissolução requer não só a remoção de Ca^{+2} e H_2PO_4^- a partir da zona de dissolução, como também requer a presença de H^+ .

2.3.3.1 Fosfatos naturais nacionais

Os fosfatos naturais brasileiros, de origem ígnea e metamórfica, apresentam estrutura cristalina de difícil intemperização e baixa reatividade. São fosfatos naturais duros, por causa do baixo conteúdo dos elementos substituintes (flúor, cloro, hidroxila ou carbonato), deixando sua rede cristalina bastante perfeita e a energia de ligação extremamente alta. A solubilidade em água é praticamente zero e, em ácido cítrico, é normalmente menor do que 5% (Rheinheimer, Gatiboni & Kaminski, 2001).

Ao que parece, o uso dos fosfatos de rocha nacionais não é adequado para a disponibilização de fósforo em solos altamente intemperizados, de baixa fertilidade e com alta capacidade de fixação, como os solos de cerrado (Lopes, 1998). Vários estudos confirmam a baixa eficiência agrônômica dos fosfatos naturais brasileiros, não atendendo à demanda das culturas (Lopes, 1999); por isso, seu uso para aplicação direta tem sido muito limitado.

2.3.3.2 Fosfatos naturais importados

Os fosfatos naturais reativos são utilizados no Brasil desde os anos 60, tendo sido intensificado seu emprego nos últimos anos, com resultados agrônômicos satisfatórios de eficiência e economicidade para o agricultor (Kaminsky & Peruzzo, 1997).

Os fosfatos naturais reativos são fontes de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade, que lhes confere um menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolizados. São conhecidos como fosfatos “moles” e são mais reativos

(Peruzzo, Pottker & Wietholter, 1997), apresentando dissolução intermediária aos fosfatos solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio) e aos fosfatos naturais “duros” (Rheinheimer, Gatiboni & Kaminski, 2001).

Rheinheimer, Gatiboni & Kaminski (2001), avaliando a solubilidade dos fosfatos reativos, observaram que, em baixos valores de pH e de fósforo disponível no solo e havendo dreno de cálcio, a dissolução do fosfato de Gafsa foi muito próxima a 100%. Entretanto, em solos da região dos Cerrados, a calagem para valores de pH em água em torno de 6,0 não compromete significativamente a eficiência dos fosfatos reativos (Sousa *et al.*, 1999). Segundo esses últimos autores, a alta capacidade dos solos de cerrado em adsorver P, mantendo baixos teores do nutriente na solução, favorece a dissolução desses fosfatos. Em estudos de campo avaliando a eficiência agrônômica de alguns fosfatos naturais reativos, Chien (1998) observou que o fosfato Arad apresentou eficiência de 85%, ao passo que para os fosfatos naturais brasileiros, essa foi inferior a 60%.

Via de regra, a utilização de fosfatos naturais de alta reatividade tem se mostrado promissora e apresentado bons resultados; muitas vezes, a eficiência de tais fontes se assemelha àquela obtida com os fertilizantes solúveis (Nakayama & Malavolta, 1983, Ruedell, 1995 citado por Lopes, 1998, Mutert & Sri Adiningsih, 1998).

2.4 Eficiência de uso de fósforo

Os custos relativamente elevados dos fertilizantes fosfatados, associados às limitações de deficiência generalizada e fixação do elemento nos solos, têm intensificado a busca de tecnologias que possibilitem o uso mais eficiente do P aplicado e, conseqüentemente, a produção de alimentos com menor custo de produção (Machado, 1995).

Além da eficiência da fonte e do seu manejo, Sanchez & Salinas (1981) ressaltam a importância da seleção e uso de espécies e variedades tolerantes a baixos níveis de P disponível no solo, no sentido de aproveitar ao máximo o potencial de adaptação dos genótipos.

A possibilidade de explorar as diferenças genóticas de absorção e utilização de P, para aumentar a eficiência do fertilizante fosfatado ou obter boas produtividades em solos deficientes, tem recebido mais atenção apenas nos últimos anos (Fageria, 1998b). A ocorrência de variabilidade genética relacionada à nutrição mineral, bem como a diversidade inter e intra-específica para a absorção, translocação, distribuição e uso de fósforo têm sido amplamente observada para grande parte das culturas, dentre as quais, o milho (Hanway, 1962; Furlani *et al.*, 1985; Ciarelli, 1998; Machado *et al.*, 1999).

A eficiência nutricional é definida como a capacidade de determinado genótipo adquirir o nutriente para incorporá-lo e utilizá-lo na produção de biomassa ou material vegetal de rendimento econômico (Blair, 1993; Gourley, Allan & Russele, 1994; Baligar & Fageria, 1997).

A eficiência de aquisição, transporte e utilização de fósforo pelas plantas é controlada pela capacidade do solo suprir e habilidade da planta em absorver, utilizar e remobilizar o nutriente. Essa eficiência varia em função das características do solo, genótipo das espécies cultivadas e de fatores ambientais (Machado, 1995).

A eficiência de uso de um nutriente tem sido definida de várias maneiras, mas seus componentes mais comuns são a eficiência de absorção e a eficiência de utilização. Em solos de baixa fertilidade, a eficiência de utilização do nutriente é mais importante que a eficiência de absorção para produção de grãos; por outro lado, em solos de alta fertilidade, os dois componentes são importantes na produção das culturas (por Moll, Kamprath & Jackson, 1981; Fageria, 1998b).

Existem vários mecanismos e processos na planta que contribuem para o uso eficiente de nutrientes em solos de baixa fertilidade. Esses processos são resumidos por Fageria & Baligar (1993) e estão relacionados com as características morfológicas e fisiológicas desejáveis. Dentre as características morfológicas, citam-se um sistema radicular eficiente, alta relação entre raízes e parte aérea, sistema radicular extensivo, explorando maior volume de solo. Quanto às características fisiológicas, citam-se a habilidade do sistema radicular na modificação da rizosfera para superar baixos níveis de nutrientes, maior eficiência de absorção ou de utilização de nutrientes, capacidade de manter o metabolismo normal com baixo teor de nutrientes nos tecidos e alta taxa fotossintética.

A seleção de espécies e cultivares que se desenvolvam e produzam bem em baixos níveis de nutrientes disponíveis no solo parece ser o principal componente dessa estratégia em solos tropicais. Quando o suprimento pelo solo é insuficiente, a eficiência com a qual o nutriente é usado pelas plantas passa a ser fundamental. Em última análise, o manejo mais apropriado de fontes fosfatadas, associado ao uso de cultivares altamente eficientes, tem resultado em maior eficiência de uso do fósforo e outros nutrientes na agricultura (Baligar & Fageria, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo (sequeiro) na Fazenda Boa Vista, município de Itumirim-MG, situado a 21°19'02" de latitude sul e 44°52'14" de longitude oeste, a uma altitude média de 871m. O clima, de acordo com a classificação de Koppen, se encontra no limite entre Cwb e Cwa, caracterizando clima temperado a temperado subtropical, com inverno seco.

A área utilizada apresenta Argissolo Vermelho típico (Podzólico Vermelho-Escuro) textura argilosa, sob vegetação de cerrado e com baixa disponibilidade de fósforo (Tabela 1). A planta-teste foi o milho híbrido triplo HT 971011, desenvolvido pela Embrapa-CNPMS.

O presente trabalho foi realizado com dados do primeiro ano de cultivo do milho, parte de um experimento que será conduzido durante três anos nas mesmas condições, dada a importância da avaliação mais aprofundada do comportamento de fontes fosfatadas e modos de aplicação.

3.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de um fatorial $4 \times 2 + 1$, combinando quatro fontes de fósforo (ST - superfosfato triplo, TM - termofosfato magnésiano Yoorin, FR - fosfato reativo de Arad, e FA - fosfato natural de Araxá) e duas formas de aplicação (a lanço e localizada no sulco), as unidades experimentais que não receberam fósforo constituíram um tratamento adicional (testemunha), perfazendo um total de 36 parcelas experimentais.

A área de cada parcela foi de 27 m² (4,5 x 6 m), com cinco linhas de 6 m de comprimento e 0,9 m espaçadas entre si. Para fins de avaliação do experimento, foi considerada uma área útil central de 10,8 m² (três linhas de 4 m de comprimento).

TABELA 1. Principais atributos químicos e físicos do solo (0-20 cm de profundidade) antes da aplicação dos tratamentos.

pH (H ₂ O)	5,3
P- resina (mg dm ⁻³)	7,8
K (mg dm ⁻³)	34,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,2
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,5
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,0
T (cmol _c dm ⁻³)	2,1
T (cmol _c dm ⁻³)	6,6
V (%)	24,1
M (%)	24,0
B (mg dm ⁻³)	0,4
Cu (mg dm ⁻³)	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	23,4
Mn (mg dm ⁻³)	21,1
Zn (mg dm ⁻³)	0,1
P- remanescente	12,3
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	33
Areia (g kg ⁻¹)	350
Silte (g kg ⁻¹)	140
Argila (g kg ⁻¹)	510

Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

Dados de pH, Ca, Mg, Al e K foram obtidos com base nos métodos de Vettori (1969), com modificações da EMBRAPA (1997): pH em água, relação 1:2,5; Ca, Mg e Al usando extrator KCl mol L⁻¹; K pelo extrator Mehlich-1. O P disponível foi determinado pela Resina de Troca Iônica (Raij & Quaggio, 1983), a acidez ativa (H+Al) e C orgânico, conforme

Raij, Feitosa & Grohman (1987). Os micronutrientes Cu, Zn, Mn e Fe foram extraídos com DTPA e B com água quente (Raij, 1991).

Precedendo ao preparo do solo, foi aplicada uma dose de calcário dolomítico, determinada previamente pelo método da curva de incubação em laboratório, para elevar o pH em água próximo a 5,5. Cerca de 40 dias após a incorporação do calcário, foram aplicadas as fontes fosfatadas na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O cálculo da quantidade a aplicar de cada fonte foi realizado baseando-se no teor de P₂O₅ total dos fertilizantes (Tabela 2). Todo o fósforo foi aplicado na época do plantio. No modo de aplicação a lanço, os fertilizantes foram distribuídos manualmente em toda a área da parcela experimental e incorporados, com enxada, a cerca de 10 cm de profundidade. Na aplicação localizada, os fertilizantes foram distribuídos no fundo do sulco de plantio.

TABELA 2 Caracterização química e física dos fertilizantes fosfatados.

Fertilizantes	Características						
	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel	CaO	MgO	S	Equivalente CaCO ₃ [#]	Granulometria
-----%							
ST	46,0	40,0*	13	-	1,5	0	Granulado
TM	18,0	16,5**	20	7	-	50	Pó
FR	33,0	10,0**	37	-	-	-	Farelado
FA	24,0	4,0**	-	-	-	-	Pó

ST - Superfosfato triplo

TM - Termofosfato magnésiano

FR - Fosfato reativo Arad

FA - Fosfato de Araxá

* P₂O₅ solúvel em água ** P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100).

[#] Efeito alcalinizante dado em kg CaCO₃ para cada 100 kg do fertilizante.

3.2 Plantio, condução do experimento e dados pluviométricos no período experimental

No plantio foram aplicados 21 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio), 90 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), e 2 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco) na linha de plantio, sendo essas doses determinadas de acordo com a análise química do solo e as recomendações de adubação do milho para o Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

O plantio foi realizado no dia 25 de novembro de 2000, distribuindo-se dez sementes por metro linear de sulco. Posteriormente, foi realizado desbaste, mantendo-se cinco plantas por metro.

O controle de plantas daninhas foi realizado quando necessário, mediante capina manual e controle químico. Três adubações de cobertura com nitrogênio (uréia) foram realizadas ao longo do ciclo vegetativo da cultura totalizando 170 kg ha⁻¹ de N.

Pela Figura 1 visualiza-se a inconstância do regime pluviométrico no período experimental, com períodos de suprimento subótimo de água e destaque para o déficit hídrico, precedendo o período de florescimento da cultura (vide seta indicativa no gráfico).

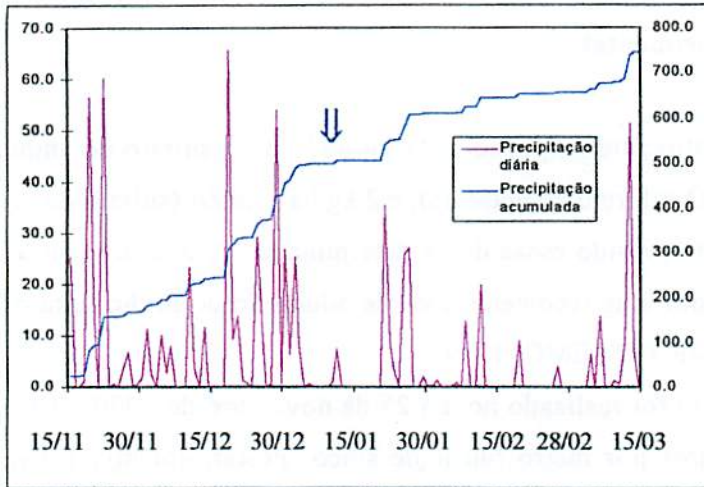


FIGURA 1. Dados pluviométricos de Lavras no período de 15 de novembro de 2000 a 15 de março de 2001.

3.3 Avaliações do experimento

Amostras de solo foram coletadas na área antes da aplicação dos tratamentos e aos vinte e cinco dias após a semeadura do milho nas linhas de plantio das parcelas para caracterização do efeito dos tratamentos (Tabelas 1 e 3).

TABELA 3 Principais atributos químicos do solo (0-20 cm de profundidade) aos 25 dias após a semeadura do milho.

Tratamento	pH H ₂ O	P* (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg (cmol _c dm ⁻³)	Al	H+Al	V %	m
				Lanço					
ST	5,0	9,7	206	1,6	0,5	0,5	6,5	29,7	17,3
TM	5,2	12,6	232	1,8	0,6	0,4	5,4	35,5	12,7
FR	5,0	10,6	224	1,2	0,4	0,6	6,2	26,0	23,7
FA	4,9	7,1	182	1,4	0,7	0,6	6,1	28,9	23,7
				Sulco					
ST	5,1	22,9	157	1,9	0,6	0,4	5,9	33,2	14,3
TM	5,1	46,1	171	1,8	1,1	0,3	4,8	39,6	9,7
FR	5,0	21,4	185	1,4	0,6	0,5	5,4	31,4	16,7
FA	4,8	17,4	184	1,4	0,3	0,6	5,9	26,6	25,7
Testemunha	4,8	7,80	196	1,3	0,6	0,6	6,3	26,9	22,3

* extrator Resina de Troca Iônica

Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFPA.

No florescimento, foram coletadas amostras de folhas do milho (primeira folha oposta e abaixo da espiga) para a determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti & Oliveira (1997).

Ao final do ciclo da cultura, foi feita a contagem do número de espigas na área útil de cada unidade experimental. As plantas foram colhidas pesando-se as espigas, o restante da parte aérea e, posteriormente, os grãos. Duas plantas e cinco espigas representativas de cada parcela foram coletadas para a determinação da concentração de nutrientes nas folhas, colmo + pendão, palha, sabugo e grãos. Considerando-se os teores de nutrientes nas diferentes partes da planta e os respectivos pesos secos, foram obtidos os conteúdos de nutrientes (acúmulo).

Calcularam-se índices de eficiência nutricional com o objetivo de avaliar a contribuição dos processos de aquisição, translocação e utilização do P na resposta do genótipo de milho em relação ao nutriente, sob a influência das fontes fosfatadas e formas de aplicação das mesmas. Para avaliar a eficiência das fontes fosfatadas em cada modo de aplicação, foram determinados também os índices de eficiência dos fertilizantes. Os procedimentos de cálculo dos referidos índices de eficiência são apresentados na Tabela 4, conforme proposto por Moll, Kamprath & Jackson (1981).

TABELA 4 Índices de eficiência nutricional avaliados.

Índices de Eficiência	Formas de cálculo*
Eficiência de Absorção – IEA (kg kg^{-1})	Pp/Pa
Eficiência de Redistribuição – IER (kg kg^{-1})	Pg/Pp
Eficiência de Utilização – IEU (kg kg^{-1})	Prod/Pp
Eficiência de Produção de Grãos – IEP (kg kg^{-1})	Prod/Pg
Eficiência do Fertilizante – IEF (kg kg^{-1})	Prod/Pa

* Prod: produção de grãos, Pa: quantidade de fósforo aplicado, Pp: fósforo acumulado na parte aérea da planta, Pg: fósforo acumulado no grão.

Para algumas variáveis, os tratamentos foram comparados em relação à eficiência relativa, tomando-se como referência (eficiência relativa = 100%) o tratamento que não recebeu adubação fosfatada (testemunha).

3.4 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2000).

Os dados experimentais foram submetidos a análises de variância. O contraste de médias para comparar os tratamentos com a testemunha foi realizado pelo teste F ($P \leq 5\%$), sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 5\%$).

Para o conteúdo de Zn na matéria seca da parte aérea e total, os dados foram transformados em \sqrt{x} .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores e acúmulo de nutrientes na planta

4.1.1 Teores foliares de nutrientes no florescimento

De maneira geral, os teores médios de macro e micronutrientes (Tabelas 5 e 6) na folha abaixo da espiga principal, por ocasião do florescimento, situaram-se dentro das faixas de valores tidas como adequadas para o milho, conforme os níveis de interpretação propostos por diversos autores citados por Büll (1993). Entretanto, para os tratamentos com fosfato de Araxá aplicado a lanço e testemunha, os teores foliares de fósforo (Tabela 5) ficaram abaixo do limite que corresponde à faixa adequada, coerentemente com a menor disponibilidade do nutriente esperada nesses tratamentos.

TABELA 5 Teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) no florescimento do milho sob diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

Tratamentos	Nutrientes					
	N	K	P	Ca	Mg	S
	Lanço					
ST	29,2	20,7	2,3	6,6	2,7	1,6
TM	29,5	19,4	2,2	5,9	2,8	1,6
FR	29,5	23,6	1,9	5,1	2,1	1,6
FN	30,0	21,5	1,8	5,4	2,5	1,8
	Sulco					
ST	31,7	21,9	2,3	6,1	2,7	1,7
TM	31,8	19,8	2,5	5,8	3,1	1,9
FR	28,5	25,2	2,1	5,8	2,8	1,6
FN	32,7	24,8	2,2	5,9	2,9	1,8
Testemunha	26,9	21,9	1,6	4,4	2,4	1,4
DMS	4.25	0.55	4.33	1.09	0.39	0.39
CV(%)	7.3	11.3	10	10.1	6.7	8.6

TABELA 6 Teores foliares de micronutrientes (mg kg^{-1}) no florescimento do milho sob diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

Tratamentos	Micronutrientes			
	Cu	Fe	Mn	Zn
	Lanço			
ST	8,8	128,1	153,9	22,2
TM	8,4	105,7	131,9	22,4
FR	9,9	110,1	146,6	23,9
FN	8,1	96,1	137,4	26,4
	Sulco			
ST	8,2	118,4	155,8	14,8
TM	8,4	101,5	166,8	21,6
FR	8,6	111,2	153,9	29,3
FN	8,7	98,6	153,6	29,1
Testemunha	8,8	119,0	157,3	31,2
DMS	1,52	20,55	26,25	4,80
CV(%)	8,8	9,6	8,9	10

Os teores de cálcio, por sua vez, foram relativamente altos para todos os tratamentos (Tabela 5), superando os valores de referência para o milho. Esse resultado pode estar relacionado a uma maior eficiência do genótipo no aproveitamento do fósforo, visto que uma planta, ao atuar como dreno de cálcio, favorece a dissolução de fosfatos naturais (Khasawneh & Doll, 1978; Raij & Van Diest, 1979; Novais & Smyth, 1999).

Em relação aos micronutrientes, apenas o Zn apresentou comportamento diferenciado, em função dos tratamentos. O menor teor foliar foi observado quando se aplicou superfosfato triplo no sulco de plantio (Tabela 6), sendo o único tratamento em que não se alcançou a faixa de suficiência ($15 - 50 \text{ mg kg}^{-1}$) de zinco indicada para a cultura (Büll, 1993; Malavolta, Vitti & Oliveira, 1997). Considerando que a produção de matéria seca (Tabela 13) no referido tratamento foi semelhante àquelas obtidas com outras fontes e modos de aplicação, descarta-se a possibilidade de um efeito de diluição (Jarrel & Beverly, 1981) do

zinco absorvido. Pressupõe-se, portanto, que houve restrição da absorção do micronutriente, em virtude do excesso de P liberado pela rápida solubilização do superfosfato triplo, em maior concentração quando o fosfato foi aplicado no sulco, ocasionando a interação antagônica P x Zn (Büll, 1993), pela qual altos níveis de fósforo disponível no solo podem induzir a deficiência de zinco.

Essa constatação é importante para o presente trabalho, pois trata-se de um evento que pode, pelo menos em parte, explicar os baixos valores de produção de matéria seca, espigas e grãos (Tabelas 13, 16 e 17), inesperadamente obtidos com a aplicação localizada de uma fonte de fósforo de alta solubilidade (ST), comparativamente a outros tratamentos. A presença de zinco na planta está relacionada a processos de síntese de substâncias promotoras de crescimento, como o ácido indolacético (AIA), e sua deficiência no milho acarreta prejuízo ao crescimento e produção de grãos (Decaro *et al.*, 1983; Ritchey *et al.*, 1986).

Essas observações são importantes para o manejo da adubação fosfatada quando da utilização de altas doses de P_2O_5 no sulco de plantio, em virtude da localização ocasionar maior concentração do P próximo às raízes, podendo provocar a redução da produção em função do desbalanço nutricional. Resultados obtidos por Ganiron *et al.* (1969) mostraram que adubações fosfatadas em solos com suficiente quantidade de fósforo lábil para a cultura do milho, além de prejudicarem o desenvolvimento da planta, reduziram significativamente a produção de grãos, em consequência da deficiência induzida de zinco.

Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) relatam que os efeitos detrimenais da interação P x Zn, podem ter como causas a insolubilização do Zn pelo fosfato na superfície das raízes, reduzindo a absorção e a inibição não competitiva da absorção de Zn pelo P, a insolubilização no xilema prejudicando, o transporte para a parte aérea das plantas, ou uma desordem metabólica dentro das células

da planta, relacionada ao desequilíbrio entre P e Zn. A excessiva concentração de P interfere na função metabólica do Zn em certos sítios nas células (Olsen, 1972, citado por Marques, 1990).

Em função da preocupação com relação à dinâmica do P no solo e ao aumento na disponibilidade do nutriente às plantas, a aplicação de doses mais elevadas e o manejo localizado na linha de plantio de fontes mais solúveis têm sido freqüentemente empregados. Com o objetivo de minimizar possíveis deficiências e limitação no rendimento da cultura, o equilíbrio das doses de fertilizantes fosfatados é fundamental por promover incremento na produtividade, além de reduzir o custo de produção.

4.1.2 Teores de nutrientes na planta ao final do ciclo

As médias dos teores de macro e micronutrientes nas plantas de milho ao final do ciclo, estão apresentadas nas Tabelas 1 a 10 do anexo A, não mostrando maiores diferenças em função dos tratamentos.

Não foram verificados efeitos dos tratamentos nos teores de P no colmo + pendão e sabugo do milho (Tabela 1B). Os teores do nutriente nas folhas variaram em função do uso ou não de fertilizantes fosfatados (fatorial vs adicional) (Tabela 7) e dependeram também do modo de aplicação (Tabela 8).

TABELA 7 Teores de P (g kg^{-1}) em folhas de milho ao final do ciclo em função do fornecimento do nutriente na adubação.

Tratamentos	Teor foliar de P
Fatorial (com P)	0,48 a
Testemunha (sem P)	0,33 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento- testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%)

TABELA 8 Teores de P (g kg^{-1}) em folhas de milho ao final do ciclo em função do modo de aplicação do nutriente.

Modos de aplicação	Teor foliar de fósforo
Lanço	0,43 b
Sulco	0,53 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento- testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%)

De modo semelhante ao efeito das fontes sobre a disponibilidade de P no solo (Tabela 3), o teor do nutriente nas folhas ao final do ciclo do milho foram superiores quando as plantas receberam adubação fosfatada (Tabela 7) e de forma localizada (Tabela 8), sem haver interação entre fontes e modos de aplicação (Tabela 1B). É interessante notar a diferença dos teores foliares no florescimento (Tabela 5) e ao final do ciclo (Tabela 2A), evidenciando intensa redistribuição do P foliar, em razão da mobilização do nutriente para a formação das espigas e grãos.

Para os teores de P na palha e no grão, houve interação significativa dos fatores fonte \times modo (Tabela 1B). Pelo desdobramento das interações apresentado na Tabela 9, verifica-se diferença de magnitude dos valores obtidos, ocorrendo destacada superioridade dos teores de P nos grãos em relação àqueles presentes em outros compartimentos da planta (Tabela 9).

TABELA 9 Teores de P (g kg^{-1}) na palha e nos grãos de milho em função fontes e modos de aplicação do nutriente.

Modos de Aplicação	Fontes				Testemunha
	ST	TM	FR	FA	
	Palha				
Lanço	0,26 b AB	0,39 a A	0,30 b AB	0,33 a AB	0,30 ns
Sulco	0,36 a A	0,26 b B	0,43 a A	0,37 a A	
	Grãos				
Lanço	4,90 a A	4,01 b AB	4,17 b A	2,97 b B	3,92 ns
Sulco	3,47 b C	5,92 a A	5,19 a AB	4,69 a A	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento- testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

De maneira geral, os dados referentes às concentrações de fósforo nas diversas partes da planta indicam que os grãos representam o principal e mais forte dreno de P no milho.

Por causa da alta mobilidade do nutriente na planta (Malavolta, Vitti & Oliveira, 1997), até 80% do P absorvido pelo milho podem ser direcionados para os grãos (Büll, 1933; Cantarella, 1993). O P dos grãos tem sua origem, em última instância, no nutriente absorvido do solo pelas raízes. Após a polinização, o suprimento de P para os grãos em desenvolvimento é bastante intenso. A absorção de P pelas raízes é ainda muito ativa durante o período de formação da espiga até sua maturidade e, nesse período, a quantidade de P absorvido pelas raízes varia de 43 a 65% de todo o P absorvido pela planta e a maior parte destina-se aos grãos em desenvolvimento. A redistribuição do P ocorre das folhas para o colmo, espiga e palha, e a maior parte do P total presente nas partes vegetativas é direcionado para a espiga (Arnon, 1975).

No presente trabalho, o compartimento grãos pareceu refletir diferenças mais sutis quanto à intensidade do suprimento externo do nutriente nos diversos tratamentos, considerando-se a solubilidade e forma de distribuição dos fertilizantes, em relação à aquisição de fósforo pelo milho.

A aplicação localizada dos fertilizantes no sulco de plantio ocasionou maiores teores de P nos grãos, à exceção do superfosfato triplo (ST), que apresentou tendência contrária. Teoricamente, a aplicação de uma fonte de alta solubilidade num restrito volume de solo (ST no sulco) representaria maior concentração de P em solução, desde o início do ciclo da cultura (Novais & Smyth, 1999), ocasionando teores do nutriente mais elevados na planta. Como já inferido, as causas do resultado obtido no presente trabalho podem estar relacionadas aos efeitos depressivos da interação P x Zn sobre o metabolismo do milho nesse tratamento. Esse aspecto será melhor focado na seqüência dessa discussão.

Em vista da similaridade no crescimento e produção do milho observadas nos tratamentos (Tabelas 13, 16 e 17), a análise dos dados de teores foliares de fósforo no florescimento (Tabela 5) e ao final do ciclo (Tabela 2A) e teores no grão (Tabela 9) permite inferir sobre a possibilidade de uma estratégia interna do genótipo em utilizar eficientemente o P absorvido, sob condições de maior ou menor disponibilidade, priorizando, em qualquer situação, a mobilização do nutriente para a produção de grãos. Entretanto, o fato de aparentemente não haver uma relação nítida entre teor de P no grão e produção, pode indicar que o genótipo em questão seria tolerante ao baixo suprimento, porém, pouco responsivo à adubação fosfatada.

4.1.3 Acúmulo de nutrientes no milho

O acúmulo de P em todos os compartimentos da planta foi significativamente influenciado pela interação fonte x modo de aplicação, (Tabela 2B), havendo diferença também do fornecimento do nutriente em relação ao tratamento-testemunha (fatorial vs adicional).

Para o conteúdo de P no colmo + folha, não houve efeito diferenciado das fontes dentro de cada modo de aplicação, ao passo que para o acúmulo na palha + sabugo foram observadas pequenas variações (Tabela 10).

Em todos os tratamentos, a maior parte do P absorvido foi mobilizada para os grãos que, à semelhança do que foi observado em relação aos teores de P, foi o compartimento que nitidamente evidenciou os efeitos dos tratamentos, corroborando os relatos de Clark (1975), de que espigas e grãos constituem os órgãos de maior armazenamento de fósforo por ocasião da maturidade de plantas de milho.

Uma vez que o acúmulo de fósforo nas outras partes da planta não apresenta grandes diferenças em decorrência dos tratamentos, confirma-se a aptidão do genótipo em direcionar o nutriente para a produção de grãos, sob quaisquer condições de disponibilidade no solo.

TABELA 10 Conteúdo de P (kg há⁻¹) nas plantas de milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

Modos de Aplicação	Fontes			
	ST	TM	FR	FA
	Folha + Colmo			
Lanço	8,23 b A (16%)	9,63 a A (21%)	7,90 b A (21%)	9,45 a A (28%)
Sulco	11,03 a A (28%)	9,26 a A (17%)	10,63 a A (19%)	9,52 a A (22%)
	Palha+ Sabugo			
Lanço	1,88 a A (4%)	2,44 a A (5%)	1,77 b A (4%)	1,91 a A (6%)
Sulco	1,86 a AB (5%)	1,73 b B (4%)	2,52 a A (4%)	1,89 a AB (5%)
	Grão			
Lanço	40,87 a A (80%)	33,77 b AB (74%)	28,47 b BC (75%)	22,38 b C (66%)
Sulco	25,89 b B (67%)	45,09 a A (80%)	43,27 a A (77%)	31,21 a B (73%)
	Total na Parte Aérea			
Lanço	50,98 a A (100%)	45,85 b A (100%)	38,13 b BC(100%)	33,74 b C (100%)
Sulco	38,78 b B (100%)	56,07 a A (100%)	56,42 a A (100%)	42,62 a B (100%)

Testemunha Folha + colmo 7.26* (20%), Palha + sabugo 1.58* (5%), Grão 27.12*(75%) e Total na Parte aérea 35.96* (100%).

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

- Média do tratamento testemunha difere (<) em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

À exceção do ST no sulco, observa-se que, conforme esperado, o uso de fontes mais solúveis (ST e TM), com rápida liberação de P após a aplicação e a distribuição de forma localizada, ocasionou maior absorção de fósforo, conforme evidenciado pelos acúmulos total e nos grãos (Tabela 10). Esses resultados corroboram as tendências esperadas (Novais & Smyth, 1999), pois na aplicação localizada e principalmente no caso de fontes de maior solubilidade, pequeno volume de solo é saturado com o P liberado dos fertilizantes e os sítios de adsorção nos componentes do solo são inicialmente ocupados (dreno-solo), ficando o restante do P proveniente dessas fontes mais disponível, favorecendo a absorção pelas raízes (dreno-planta).

Observando os resultados obtidos para a produção de grãos (Tabela 9), parece não haver relação direta dessa com a quantidade de P acumulada nos grãos (Tabela 10), indicando o caráter de tolerância à deficiência, mas também a

baixa responsividade do genótipo ao incremento na disponibilidade do nutriente no solo. Entretanto, não se pode descartar a possibilidade de ter havido interferência do clima, principalmente o déficit hídrico, no comportamento da planta.

Com exceção do zinco, o acúmulo total na parte aérea dos demais macro e micronutrientes mantiveram-se relativamente constante, independente dos tratamentos (Tabela 11A).

O conteúdo de zinco nas diferentes partes da planta foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 3B), sendo, de maneira geral, mais elevado na ausência da adubação fosfatada (testemunha) ou no caso do uso de fontes menos solúveis (especialmente o FA) aplicadas no sulco (Tabela 11). Dessa forma, presume-se que a maior absorção de Zn parece condicionada à presença de menores concentrações de P em solução, devido à liberação mais lenta do nutriente pelas fontes FR e FA, e quando as raízes se concentram nas proximidades do sulco, local de aplicação da adubação de base com o micronutriente.

TABELA 11 Conteúdo de Zn (g ha^{-1}) na planta de milho em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

Modos de Aplicação	Fontes				Testemunha
	ST	TM	FR	FA	
	Folha + Colmo				
Lanço	264 a A	394 a A	389 a A	432 b A	568 *
Sulco	316 a B	319 a B	512 a AB	721 a A	
	Palha + sabugo				
Lanço	61 a B	87 a A	55 a B	77 a AB	88 *
Sulco	32 b B	48 b AB	70 a A	68 a A	
	Grão				
Lanço	268 a A	306 a A	269 a A	259 a A	295 ns
Sulco	268 a A	301 a A	318 a A	267 a A	
	Total na Parte Aérea				
Lanço	594 a A	786 a A	709 a A	761 b A	949 *
Sulco	617 a B	668 a B	881 a AB	994 a A	

Os dados de conteúdo de Zn na matéria seca da parte aérea e total foram transformados em \sqrt{x} para análise

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

- Média do tratamento testemunha difere (<) em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

Por sua vez, o conteúdo de Zn nos grãos (Tabela 11) não apresenta clara ligação com os tratamentos de adubação fosfatada e nem com os teores foliares do micronutriente por ocasião do florescimento (Tabela 6). Entretanto os conteúdos totais em todos os tratamentos, foram superiores ao valor de 400 g ha^{-1} , correspondentes a uma produção de $9,1 \text{ ton ha}^{-1}$ de grãos (Gamboa, 1980), a qual ultrapassa as maiores produtividades alcançadas no presente experimento. Essa situação sugere que a produção de grãos no tratamento com aplicação localizada do ST foi afetada negativamente pela ocorrência de desbalanço nutricional ocorrido no florescimento, fase crítica da cultura, causando redução no rendimento de grãos em virtude das funções do micronutriente na planta,

relacionadas ao aspecto de divisão celular e crescimento, e não somente devido a problemas de absorção ou translocação de Zn.

Segundo diversos autores citados por Büll (1993), o crescimento e produção do milho são comprometidos por efeitos desfavoráveis da interação P x Zn, a qual pode-se dar por processos que ocorrem na raiz ou nos vasos condutores, inibindo a translocação do Zn para a parte aérea ou, também, por desordem metabólica devida ao desbalanceamento entre esses nutrientes.

As observações relativas ao acúmulo de Zn no milho permitem concluir que, no caso do genótipo de milho estudado, a interação P x Zn ocorre, em parte, pelo mecanismo de restrição da absorção do micronutriente pela elevada quantidade de P solúvel nas proximidades da raiz (vide acúmulo na parte aérea no tratamento-testemunha e FA comparativamente ao acúmulo nas fontes mais solúveis ST e TM no sulco, Tabela 11). O transporte de Zn na planta aparentemente não foi comprometido, visto que as diferentes partes da planta ao final do ciclo apresentam aporte equilibrado do micronutriente entre os tratamentos.

Nesse contexto, a probabilidade de desordens metabólicas em consequência do desbalanço de P e Zn é reforçada pelos dados de relação entre esses nutrientes (Tabela 12) na folha amostrada à época do florescimento que, certamente, melhor expressa o estado nutricional do milho no período de mais intensa atividade metabólica da planta. Conforme os indicativos encontrados por Sumner e Farina (1986), o valor de 152 observado para a relação P/Zn no tratamento com superfosfato no sulco (Tabela 12) encontra-se numa faixa de acentuada possibilidade de comprometimento da produção de grãos, inclusive com surgimento de sintomas de deficiência do micronutriente.

TABELA 12 Relação de teores P/Zn nas folhas de milho no florescimento e final do ciclo em função de diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

Modos de Aplicação	Fontes				Testemunha
	ST	TM	FR	FA	
Folha no florescimento					
Lanço	104	98	79	70	51
Sulco	152	114	72	75	
Folhas no final do ciclo					
Lanço	41	32	30	35	34
Sulco	43	37	34	20	

De acordo com os valores apresentados na Tabela 12, maiores produções de grãos estariam associadas a relações P/Zn em torno de 100, coerentemente com os resultados apresentados por Sumner & Farina (1986), ainda pelos quais valores muito baixos passariam a prejudicar a produção em virtude da deficiência de fósforo nos tecidos da planta.

Pressupõe-se que a exaustão do P e a evidência de alguma mobilização do Zn das folhas (Tabelas 11 e 10A), para a formação dos grãos, conduzam à homogeneidade dos valores de teores de Zn (Tabela 10A) e das relações P/Zn (Tabela 12) nas folhas ao final do ciclo. Nesse aspecto, a folha abaixo da espiga no florescimento parece ser a mais adequada para a diagnose da relação P/Zn, para a qual uma condição de equilíbrio exerce grande influência para o milho, especialmente em situações de manejo objetivando altas produtividades.

4.2 Variáveis de Produção

4.2.1 Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA)

A análise de variância evidenciou interação significativa entre os fatores modo de aplicação x fonte fosfatada para a produção de matéria seca da parte aérea do milho. No entanto, não houve significância para os efeitos isolados das fontes de P e dos modos de aplicação, bem como para o contraste fatorial vs adicional (tratamento testemunha) (Tabela 4B).

De acordo com as médias de produção de matéria seca obtidas nos tratamentos (Tabela 13), observa-se que, no modo de aplicação a lanço, as fontes não diferiram estatisticamente entre si. Na aplicação localizada, o fosfato reativo (FR) proporcionou maior crescimento das plantas, ao passo que o termofosfato (TM) foi a fonte com menor produção de MSPA. O modo de aplicação influenciou o efeito das fontes TM e FR, e a aplicação a lanço favoreceu maior produção de matéria seca quando se utilizou o termofosfato, ocorrendo o inverso no caso do fosfato reativo. O superfosfato triplo (ST) e o fosfato de Araxá (FA) apresentaram produções similares de MSPA, independentemente da forma de aplicação dos fertilizantes.

TABELA 13. Produção de matéria seca da parte aérea (kg ha^{-1}) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.

Modos de aplicação	Fontes			
	ST	TM	FR	FA
Lanço	37578 a A	39201 a A	32433 b A	36985 a A
Sulco	34980 a AB	34086 b B	40695 a A	33473 a AB
Testemunha	34759 ns			

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento-testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%)

Dada a natureza distinta das quatro fontes testadas, em termos de interação com os componentes do solo e capacidade de liberação de fósforo, esperar-se-ia efeitos claramente diferenciados para as fontes e modos de aplicação. Os resultados obtidos para produção de matéria seca não seguiram essa tendência, inclusive com uma produção relativamente elevada no tratamento-testemunha, o que, em princípio, não era esperado.

A explicação, provavelmente, não se deve a causa isolada, mas sim, a uma combinação de fatores. Deve-se considerar inicialmente os possíveis efeitos da ocorrência de deficiência hídrica, associada ainda à eficiência nutricional da planta, que poderiam contribuir, de certa forma, para obtenção de respostas equiparáveis entre tratamentos distintos.

Na Figura 1 observa-se o período de déficit hídrico que, conforme indicado no gráfico, ocorreu nas fases de pré-florescimento e florescimento do milho, período crítico para a cultura. Além do comprometimento do metabolismo da cultura nessas condições, reduzindo a produção de matéria seca (Sá, 1993), a literatura mostra que a resposta ao fornecimento de nutrientes é altamente dependente das condições de umidade do solo ao longo do ciclo da cultura, especialmente no caso do fósforo e potássio, que dependem do fluxo difusivo no solo para serem absorvidos pela planta (Mengel, 1978; Mackay & Barber, 1985a e 1985b; Novais & Smyth, 1999).

Miranda *et al.* (2000), avaliando a produção do feijoeiro em resposta à adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de Cerrado, observaram que o manejo da irrigação pode interferir de forma significativa na eficiência da adubação fosfatada, concordando com Silveira & Moreira (1990), os quais relatam que a eficiência do adubo fosfatado para o feijoeiro foi maior com o aumento da disponibilidade de água, Ruiz *et al.* (1988) observaram, em casa-de-vegetação, diminuição dos parâmetros de crescimento da soja com a redução do potencial matricial em vários níveis de adubação fosfatada.

Por outro lado, o fósforo possui papel-chave no estímulo ao crescimento radicular do milho, e a aplicação localizada do nutriente no sulco pode, de certa forma, confinar as raízes junto à linha de plantio (Novais & Smyth, 1999), restringindo a exploração de maior volume de solo, o que pode ser uma agravante quando o pequeno aporte de água das chuvas passa a limitar o desenvolvimento da cultura. Dessa forma, na aplicação dos fertilizantes a lanço e mesmo no tratamento testemunha, uma maior expansão do sistema radicular pode ter levado à vantagem do melhor aproveitamento de água (Cantarella, 1993; Novais & Smyth, 1999), cujo efeito seria preponderante à própria disponibilidade de fósforo no solo, sob as condições climáticas prevalentes durante o experimento.

Adicionalmente, considerando-se a baixa capacidade natural de suprimento de fósforo pelo solo (Tabela 3, tratamento-testemunha), os dados de produção de matéria seca (Tabela 13) sugerem que o genótipo de milho utilizado no presente estudo deve possuir uma alta eficiência nutricional em relação ao nutriente, o que também contribuiria para nivelar o crescimento do milho nos diversos tratamentos.

4.2.2 Número de Espigas

Verificou-se efeito do fornecimento de fósforo (contraste fatorial vs adicional), da fonte do nutriente e do modo de aplicação sobre o número de espigas produzidas pelo milho, não havendo, contudo, interação dos fatores fonte x modo (Tabela 4B).

Observa-se na Tabela 14 que a aplicação de fósforo a lanço levou à produção de maior número de espigas, comparativamente ao fornecimento localizado do nutriente. Tal fato pode estar associado à maior eficiência de absorção de água, quando o crescimento do sistema radicular explora maior

volume de solo externamente à linha de plantio, estimulado pela presença de fósforo distribuído em área total.

TABELA 14 Número de espigas (espigas ha⁻¹) em função do modo de aplicação de fertilizantes fosfatados para o milho.

Modos de aplicação	Número de espigas
Lanço	58391 a
Sulco	56837 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento-testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%)

Ao utilizar fontes de fósforo mais solúveis (ST e TM), obteve-se maior número de espigas (Tabela 15), sugerindo incremento da prolificidade do milho nesses tratamentos, ou seja, as fontes mais solúveis favoreceram a produção de mais de uma espiga por planta. A pronta liberação do P por essas fontes, certamente, promoveu melhor suprimento do nutriente em relação às fontes de menor solubilidade (FR e FA) na fase inicial da cultura, o que, de acordo com Mengel & Kirkby (1987), está relacionado ao aumento do número de espigas por área.

Com base nessa premissa, pode-se inferir que o potencial de resposta do milho ao fornecimento de fósforo em termos de produção de espigas e, conseqüentemente, de grãos parece ser definido ainda nos primeiros estádios de desenvolvimento da planta, embora a expressão plena desse potencial dependa de outros fatores de crescimento.

Machado (1995), avaliando a eficiência de genótipos de milho sob diferentes doses de P, observou que a disponibilidade de P no solo no estágio inicial de desenvolvimento é um fator determinante para o crescimento, por afetar características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular, importantes para a absorção do nutriente e, conseqüentemente, para a produção

da parte aérea. Segundo a autora, a falta ou a menor disponibilidade do nutriente favorece a formação de espigas defeituosas, tortas e com falhas nas fileiras de grãos, bem como o processo de maturação é retardado e desuniforme.

TABELA 15 Número de espigas (espigas ha⁻¹) em função de fontes de fósforo para o milho.

Fontes	Número de espigas
ST	59331 a
TM	58997 a
FR	55970 b
FA	55834 b
Testemunha	54737*

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento- testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%)

4.2.3 Peso de espigas e produção de grãos

O modo de aplicação influenciou distintamente o comportamento das fontes de P para o peso das espigas produzidas, conforme a interação significativa desses fatores, havendo também diferença dos tratamentos com fornecimento de fósforo em relação à testemunha (fatorial vs adicional). Comportamento análogo foi obtido para a variável produção de grãos (Tabela 4B).

Na aplicação a lanço, as fontes mais solúveis (ST, TM) promoveram maior peso de espigas e de grãos (Tabelas 16 e 17). Todavia, estatisticamente, não diferiram em relação ao fosfato de Araxá (FA). Quando da aplicação no sulco de plantio, a produção com o FA foi menor que aquelas obtidas com o uso das demais fontes testadas. À exceção do tratamento com fosfato reativo (FR),

os valores absolutos das produções de espigas e grãos foram mais elevados quando os fertilizantes foram distribuídos a lanço em área total.

TABELA 16 Peso de espigas (kg ha⁻¹) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.

Modos de aplicação	Fontes			
	ST	TM	FR	FA
Lanço	12308 a A	12406 a A	10046 b B	10786 a AB
Sulco	10961 a AB	11188 a AB	12348 a A	10363 a B
Testemunha	10110*			

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

* média do tratamento-testemunha difere (<) em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

TABELA 17 Produção de grãos (kg ha⁻¹) em função de fontes e modos de aplicação de fósforo na cultura do milho.

Modos de aplicação	Fontes			
	ST	TM	FR	FA
Lanço	8369 a A	8436 a A	6831 b B	7334 a AB
Sulco	7454 a AB	7608 a AB	8397 a A	6047 a B
Testemunha	6875*			

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

* Média do tratamento testemunha difere (<) em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

De acordo com Goedert & Souza (1986), as fontes solúveis granuladas geralmente apresentam desempenho similar para ambas as formas de aplicação, podendo a aplicação a lanço promover maiores rendimentos em relação à aplicação localizada quando da ocorrência de déficit hídrico, sendo freqüente em condições de campo. Já os termofosfatos, fosfatos reativos (Goedert & Lobato, 1984) e fosfatos naturais brasileiros (Lopes, 1999) aplicados a lanço apresentam maior eficiência. Outros pesquisadores, entretanto, têm relatado

resultados (Kaminsky & Peruzzo, 1997; Novais & Smyth, 1999) e indicado recomendações de adubação (Appleton, 1992; Novais, 1999) contrárias a essas sugestões.

No caso dos fosfatos naturais FR e FA, na aplicação a lanço, a falta de umidade por determinados períodos e a restrição de tempo para a ocorrência dos processos de solubilização, possivelmente, concorreram para restringir a liberação de P em quantidades suficientes para um primeiro cultivo de milho na área, o que não foi crítico no caso do ST e TM que, sendo mais solúveis, supriram a demanda da cultura.

A influência do modo de aplicação no desempenho das fontes foi verificada apenas para o FR. A aplicação dessa fonte no sulco promoveu o maior ganho em peso de espiga (Tabela 16), seguindo a mesma tendência observada para a produção de matéria seca (Tabela 13). Esse resultado pode ser atribuído ao aumento da concentração de P próximo às raízes e também à redução da fixação em função do menor contato do fertilizante com o solo, disponibilizando o nutriente às plantas, ao passo que a aplicação a lanço tende a favorecer o solo e não a planta, conforme já havia sido relatado por Appleton (1992) e Novais (1999). Tal constatação parece se aplicar somente ao FR.

Semelhantemente ao que foi verificado no presente trabalho, Kaminsky & Peruzzo (1997) apresentam resultados para a cultura da soja, nos quais a aplicação do fosfato reativo de Arad (FR) na linha de plantio gerou maior rendimento de grãos, comparativamente à distribuição do produto a lanço.

Esperava-se um comportamento diferenciado do FA, com menor produção quanto à produção de espigas e grãos, em virtude da baixa taxa de liberação do nutriente, não atendendo às exigências da cultura a partir do ano de aplicação, conforme sugerido por Goedert & Lopes (1987), Lopes (1998, 1999). Por outro lado, esses resultados reforçam a alta eficiência ou baixa

responsividade do genótipo a fósforo, pois os rendimentos obtidos com a utilização dessa fonte não diferiram das fontes mais solúveis (Tabelas 16 e 17).

Os resultados obtidos no tratamento-testemunha, em que o teor de P disponível foi $7,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, considerado baixo, também evidenciam o aspecto da eficiência genotípica do híbrido HT 971011 a fósforo. Embora a produção sem o fornecimento de P tenha sido estatisticamente inferior, os dados médios de produtividade foram relativamente elevados em todos os tratamentos, incluindo a testemunha (Tabelas 16 e 17).

A consideração de alguns outros aspectos ajuda a compreensão dos resultados obtidos no presente trabalho. A dose relativamente alta de P_2O_5 (180 kg ha^{-1}) contribui para minimizar os efeitos do modo de aplicação dos fertilizantes, apesar das diferenças de solubilidade dos mesmos. Conforme apontado por Rein *et al.* (1994); Kaminsky & Peruzzo (1997), são prováveis as alterações dos resultados num segundo cultivo, em função do efeito residual de cada tratamento.

É preciso considerar, também, a influência climática na resposta do híbrido aos tratamentos e, mais especificamente, a coincidência de um período de intenso déficit hídrico com a fase que precedeu o florescimento do milho. Com base no trabalho de revisão de Magalhães & Silva (1987), citado por Sá (1993), tem-se evidenciado que as folhas formadas acima da espiga principal, num estágio mais avançado de desenvolvimento do milho, podem ser responsáveis por até 80% do acúmulo de matéria seca dos grãos.

Portanto, nas condições experimentais do presente estudo e, baseando-se em patamares de resposta bastante significativos (Tabelas 16 e 17), ganhos adicionais em produtividade passam a ser extremamente dependentes de condições externas (ambientais) favoráveis, não sendo modulados apenas pela disponibilidade de nutrientes, de forma que o déficit hídrico, ao longo do ciclo,

muito provavelmente tenha dificultado a expressão do potencial de resposta do genótipo.

4.3 Eficiência nutricional para fósforo

Houve efeito significativo da interação fonte x modo de aplicação de fósforo para os índices de eficiência nutricional relacionados ao uso do nutriente pelo milho (Tabela 5B).

Quando os fertilizantes fosfatados foram aplicados a lanço, a eficiência de absorção (IEA) tendeu a ser decrescente conforme diminui a solubilidade das fontes fosfatadas (Tabela 18), na seqüência ST>TM>FR>FA. Como a dose de P utilizada para o cálculo do IEA (Tabela 4) diz respeito ao teor de P_2O_5 total dos fertilizantes, esse comportamento é condizente com a maior ou menor facilidade de aquisição do nutriente pelas raízes, à medida que as fontes diferem bastante quanto à taxa de liberação de fósforo (Tabela 2).

TABELA 18 Índices de eficiência (kg kg^{-1}) a fósforo para o milho, em função de diferentes fontes e modos de aplicação do nutriente.

Modos de Aplicação	Fontes				Testemunha
	ST	TM	FR	FA	
IE Absorção					
Lanço	0,27 a A	0,25 b B	0,21 b B	0,19 b B	
Sulco	0,21 b B	0,31 a A	0,31 a A	0,24 a B	-
IE Redistribuição					
Lanço	82 a A	74 b B	75 a B	66 b C	
Sulco	67 b B	80 a A	77 a AB	73 a B	75 ns
IE Utilização					
Lanço	168,8 aB	184,0 a B	179,8 a B	225,3 a A	
Sulco	195,5 a A	136,6 b B	148,5 b B	165,5 a AB	192,5 ns
IE Produção de Grãos					
Lanço	204,5 b B	250,2 a B	241,7 a B	341,1 a A	
Sulco	294,1 a A	170,8 b B	193,4 a B	223,4 b AB	157,7 ns
IE do Fertilizante					
Lanço	46,5 a A	46,9 a A	37,9 b B	42,3 a AB	
Sulco	41,4 a AB	42,3 a AB	46,6 a A	37,2 a B	-

Eficiência de absorção = P acumulado na parte aérea/ P aplicado

Eficiência de redistribuição = P acumulado no grão/ P acumulado na parte aérea

Eficiência de utilização = Produção de grãos/ P acumulado na parte aérea

Eficiência de produção de grãos = Produção de grãos/ P acumulado no grão

Eficiência de uso do fertilizante = Produção de grãos/ P aplicado

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si (Tukey, 5%).

ns = média do tratamento-testemunha não difere em relação à média do fatorial (teste F, 5%).

A aplicação dos fertilizantes TM, FR e FA no sulco de plantio promoveu maior absorção do P fornecido, por minimizar o contato do adubo com o solo e, conseqüentemente, restringir os processos de fixação de fósforo. Na aplicação localizada, a eficiência de absorção do fósforo advindo do superfosfato triplo foi comprometida provavelmente em razão dos efeitos depressivos da interação P x Zn sobre o desenvolvimento do milho. Dado o papel do micronutriente no equilíbrio hormonal da planta, a limitação da própria capacidade de absorção do

sistema radicular ou ainda a inibição na demanda metabólica de fósforo seriam conseqüências da referida interação (Büll, 1993; Malavolta, Vitti & Oliveira, 1997; Oliveira, 2000).

De qualquer forma, em cada modo de aplicação, as diferenças entre os valores do P absorvido das fontes testadas não excederam 10% em relação ao total aplicado no solo. Isso parece demonstrar que o genótipo de milho possui uma capacidade de absorção mais ou menos constante, mesmo sob condições de menor disponibilidade de fósforo no solo, característica essa que pode estar associada à habilidade da planta na aquisição de P a partir de formas menos disponíveis (Novais & Smyth, 1999), como seria o caso das fontes FR e FA.

Como ao final do ciclo a maior parte do P acumulado na planta de milho foi mobilizada para os grãos, a eficiência de redistribuição (IER) parece apresentar estreita relação com a eficiência de absorção (Tabela 18), sugerindo que as mesmas condições que afetam a absorção influenciam também o transporte interno de P na planta. Assim sendo, à exceção do ST no sulco, pelas razões já discutidas no tocante à interação P x Zn, os mais altos valores de IER obtidos para as fontes de maior solubilidade e com a aplicação localizada indicam incremento na alocação do nutriente para a formação de grãos, quando maiores quantidades de P foram prontamente liberadas pelo fertilizante na fase inicial da cultura.

Segundo esse raciocínio, comparativamente às demais fontes, o uso do fosfato de Araxá (FA), que possui menor e mais lenta solubilização, limitou não só a aquisição de fósforo, mas também a redistribuição do que foi absorvido, comprometendo a produção de grãos pelo não atendimento da demanda de P ao longo das fases de desenvolvimento do milho.

Estando na dependência da relação entre os valores de produção de grãos e da quantidade de P acumulada na planta, a eficiência de utilização (IEU) obtida no presente estudo (Tabela 18) foi maior nos tratamentos que

proporcionaram menor acúmulo do nutriente na planta (Tabela 10), uma vez que os ganhos em produção não foram proporcionais às quantidades de fósforo absorvidas.

De acordo com os dados obtidos no presente trabalho, há um indicativo da alta eficiência e baixa responsividade do genótipo, considerando-se que o rendimento de grãos não foi muito discrepante entre os tratamentos (Tabela 17) e que não houve diferença significativa entre a testemunha (sem P) e os tratamentos que receberam adubação fosfatada, quanto à eficiência de utilização (Tabela 18), evidenciando a alta capacidade do genótipo em utilizar o P nessas condições.

Não foi possível estabelecer uma relação definida entre a eficiência de utilização (Tabela 18) e a produtividade (Tabela 17), ou seja, os fatores que favoreceram maior IEU não afetaram da mesma maneira a produção de grãos. O próprio tratamento-testemunha apresenta IEU estatisticamente igual à média do fatorial. Portanto, duas hipóteses podem ser levantadas: a) o genótipo utilizado é tolerante à deficiência, mas pouco responsivo ao incremento da disponibilidade de fósforo; b) fatores externos, como o clima, podem ter influenciado a resposta do milho aos tratamentos, interferindo no comportamento dessas variáveis. Nesse contexto, ocorre dificuldade de se apontar, dentre os tratamentos, qual apresentaria uma menor relação custo/benefício.

Em virtude da altas taxa de redistribuição de P, os índices de eficiência para produção de grãos (IEP) seguiram as mesmas tendências discutidas para IEU (Tabela 18). As maiores eficiências para a produção de grãos verificadas para os tratamentos com menor acúmulo de P nesse compartimento (Tabela 10), que são FA a lanço e ST no sulco, confirmam que a capacidade de utilização interna de P contribui para reduzir as discrepâncias de produção entre os tratamentos avaliados no presente estudo. Por outro lado, os menores valores de IEP obtidos para os tratamentos TM e FR no sulco, os quais proporcionaram os

mais elevados valores de P acumulado no grão, revelam que fatores intrínsecos ou não ao genótipo foram condicionantes restritivos para que o P adicionalmente absorvido e direcionado para os grãos resultasse em ganho de produtividade.

Quanto aos índices de eficiência do fertilizante (IEF), as principais diferenças estatísticas ocorreram entre as fontes, dentro de cada modo de aplicação (Tabela 18).

Quando aplicadas a lanço, as fontes mais solúveis (ST e TM) foram mais eficientes que os fosfatos naturais (FR e FA), o que deve estar ligado ao equilíbrio diferenciado que se estabelece na interação entre o P dissolvido das fontes e os componentes coloidais do solo, de forma que os fosfatos solúveis liberaram o nutriente em quantidades mais elevadas, minimizando os efeitos da competição entre solo e planta pelo fósforo fornecido, condição não alcançada com o uso dos fosfatos naturais em que a menor quantidade de P liberada vai atender primeiramente à demanda do solo, dreno preferencial no sistema.

Na aplicação localizada no sulco de plantio, a eficiência das fontes ST e TM tendeu a ser menor do que no caso da distribuição desses fertilizantes em área total. Em função da dose relativamente elevada de P aplicada num restrito volume de solo, presume-se que as causas desse comportamento são oriundas de desequilíbrios nutricionais. Ao que tudo indica, o uso do superfosfato no sulco acarretou desbalanço entre P e Zn na planta. Já o termofosfato, em virtude do equivalente de CaCO_3 (Tabela 2), pode ter induzido, no decorrer do período de cultivo do milho, significativa elevação do pH na linha de plantio, modificando a dinâmica de nutrientes no solo, bem como, provocando alterações no equilíbrio Ca:Mg:K na planta.

Os fosfatos naturais FR e FA aplicados localizadamente surtiram efeitos opostos, resultando, respectivamente, no maior e menor IEF observado para as fontes nesse modo de aplicação (Tabela 19). A explicação para esse fato deve

estar associada a diferenças no ajuste das taxas de liberação de fósforo pelos dois fosfatos naturais e na demanda do nutriente para o desenvolvimento do milho. Com base nessa hipótese, o FR sendo um fosfato “mole” (Kaminski & Peruzzo, 1997), sofre dissolução mais facilmente que o fosfato “duro” FA, fornecendo P em intensidade mais adequada ao rápido crescimento do milho; contudo, oferece menor chance de desbalanços nutricionais comparativamente a fontes de alta solubilidade (ST). Dentre os fosfatos naturais, a aplicação localizada parece ser mais crítica para a solubilização do fosfato de Araxá, a qual seria mais dependente das condições de acidez e da saturação de cálcio no ambiente de reação do produto no solo (Novais *et al.*, 1985; Appelton, 1992, Novais & Smyth, 1999, Sousa *et al.*, 1999), o que justificaria a menor efetividade do FA aplicado no sulco de plantio sobre o crescimento e produção do milho.

Dentre os índices utilizados para avaliação da eficiência nutricional do genótipo neste estudo, as eficiências de absorção (IEA) e redistribuição (IER) de fósforo foram incrementadas conforme o aumento da solubilidade das fontes, ao passo que as eficiências de utilização (IEU) e produção de grãos (IEP) seguiram tendência inversa. Dessa forma, o efeito dos tratamentos parece ter sido mais bem expresso pelo índice de eficiência do fertilizante (IEF), o qual refletiu melhor a interação dos fatores relacionados ao comportamento das fontes de P e do genótipo.

Com base nos índices de eficiência, pode-se concluir também que o genótipo, provavelmente, possui mecanismos de utilização eficiente de P que operam em condições de menor disponibilidade, conferindo-lhe tolerância à carência do nutriente no solo. Por outro lado, apesar de absorver e redistribuir eficientemente o P, não há equivalente capacidade de conversão em grãos com o aumento da disponibilidade do nutriente no solo, caracterizando uma baixa responsividade do genótipo ao fornecimento do nutriente.

4.4 Eficiência relativa das fontes fosfatadas

A eficiência relativa (ER) dos tratamentos em relação à testemunha (Tabela 19) vem confirmar as principais constatações apontadas na discussão dos resultados para as outras variáveis avaliadas.

Levando-se em conta a baixa disponibilidade original de P no solo (Tabela 1), o comportamento do milho em termos de capacidade produtiva no tratamento-testemunha (6875 kg ha⁻¹ de grãos), realçado pela pequena magnitude ou ausência de resposta aos tratamentos com fornecimento de fósforo, sustenta a idéia de que o genótipo utilizado seja tolerante a baixos níveis de P disponível no solo, mediante mecanismos que conferem eficiência no uso do nutriente (Tabela 18).

Sob outro ponto de vista, a ausência de valores mais contrastantes para a eficiência relativa das distintas formas de manejo da adubação fosfatada levam a crer que o híbrido HT 971011 seja pouco responsivo à melhoria das condições de fertilidade do solo em relação ao nutriente. Entretanto, é preciso considerar a possibilidade de interferências externas no potencial de resposta do genótipo. Para os patamares de produtividade observados no experimento, ganhos adicionais tendem a ser mais tênues e vinculados a um criterioso conjunto de práticas de manejo, necessitando de um maior controle das condições ambientais (incluindo irrigação) e de equilíbrio nutricional da cultura.

TABELA 19 Eficiência relativa das variáveis analisadas em relação a testemunha (sem fósforo).

Tratamentos	Variáveis analisadas				
	Materia seca	Número de espigas	Peso de espigas	Peso de grãos	P acumulado
	Lanço				
ST	108 ns	110 **	122**	122**	140**
TM	113 ns	109**	124**	124**	130**
FR	93 ns	102ns	100 ns	100 ns	108ns
FA	106 ns	106*	112 ns	112 ns	95ns
	Sulco				
ST	101 ns	107*	109 ns	109 ns	109ns
TM	98 ns	107*	112 ns	112 ns	159**
FR	117*	103 ns	123**	123**	159**
FN	96 ns	98 ns	98 ns	98 ns	120*

* e ** difere do tratamento-testemunha a 5 e 1%, respectivamente.
ns = não difere do tratamento testemunha.

A análise da Tabela 19 permite verificar que as fontes mais solúveis ST e TM foram mais eficientes quando distribuídas em área total, representando ganhos em produção de grãos em torno de 20% em relação ao tratamento sem fertilização com P. Ganho semelhante foi obtido com o uso localizado do FR.

Diante da discussão apresentada para as variáveis de resposta do milho a cada tratamento e, sabendo-se que a aplicação dos fertilizantes fosfatados na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi feita com base no teor total do nutriente presente nas respectivas fontes e não nos teores solúveis, nas condições do presente estudo, certamente, haveria vantagem econômica em se usar as fontes menos solúveis FR e FA, que normalmente têm menor custo que o ST e TM.

Finalmente, ressalva deve ser feita com respeito às limitações da avaliação de formas manejo da adubação fosfatada baseada nos dados do primeiro cultivo após a aplicação dos tratamentos. É necessário prolongar tal avaliação por vários cultivos para que as informações obtidas sejam mais consistentes, haja vista que com o aumento do tempo de contato de diferentes fertilizantes fosfatados com o solo, variações na dinâmica do P oriundo desses fertilizantes em cada forma de aplicação são esperadas, mais especificamente quanto ao efeito residual dos tratamentos, o que pode alterar significativamente as conclusões a longo prazo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais deste estudo, conclui-se que:

- 1. As fontes e modos de aplicação de fósforo influenciaram a produção de matéria seca e de grãos do milho. As fontes mais solúveis (superfosfato triplo e termofosfato) proporcionaram melhor resposta quando aplicadas a lanço em área total, enquanto o fosfato de Arad foi mais eficiente em aplicação localizada no sulco de plantio. O fosfato de Araxá foi a fonte com pior desempenho quando aplicada no sulco de plantio.**
- 2. O uso de superfosfato triplo no sulco de plantio na dose aplicada comprometeu a produtividade da cultura, provocando desordens metabólicas, em consequência da interação P x Zn.**
- 3. O genótipo de milho foi eficiente em utilizar o P absorvido, notadamente nos tratamentos com menor disponibilidade do nutriente no solo (fosfato de araxá e testemunha). Por outro lado, aparentemente o genótipo foi pouco responsivo à aplicação do nutriente.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, V. M. C.; VASCONCELOS, C. A.; RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. de C.; NOVAIS, R. F. Efeito da disponibilidade de nutrientes em um Latossolo vermelho escuro distrófico na produtividade da cultura do milho. In: REUNIÃO BRA. DE FERT. DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTbio 1998, Caxambu, MG. Resumos... Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.321.
- APPLETON, J. D. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Campinas, v. 16, p. 349-353, 1992.
- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern: International International Potash Institute, 1975. 452p.
- BALDEÓN, J. R. M. Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos. 1995. Tese (Doutorado). Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient use efficiency in acid soils nutrient management and plant use efficiency. *Plant-Soil Interactions at Low pH*, p. 75-95, 1997.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency - what do we really mean? In: RANDALL, P. J.; DELHAITZE; RICHARDS, R. A.; MUNNS, R. (Eds). *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*, Dordrecht, 1993. p. 205-213 (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- BOLAN, N. S.; ELLIOT, J. GREGG, P. E. H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 24, n. 2, p. 169-174, Feb. 1997.
- BRAGA, J. M. Resultados experimentais com o uso de fosfato de Araxá e outras fontes de fósforo. Viçosa: UFV, 1970. 61p. (Boletim, Série técnica, 21).

BRASIL, E. C. Disponibilidade de fósforo em solo da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. 1994. 160p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T; CANTARELLA, H. Cultura do milho fatores que afetam a produtividade. Piracicaba:Potafos, 1993. p.63-131.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho p. 147-185. In: BULL, L. T; CANTARELLA, H. Cultura do milho fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. 301p.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V. Adubação corretiva com fósforo e potássio em um solo de baixa fertilidade. *Bragantia*, Campinas, v.38, p.25-29, 1979.

CHIEN, S. H. Evaluation of Gafsa and Djebel onk phosphate rocks and soil testing of phosphate rock for direct application. In: JOHNSTON, A. E.; SYERS, J. K. Nutrient management for sustainable crop production in Asia. Wallingford: Cab International, 1998. p.75-185.

CHIEN, S. H.; LEÓN, L. A.; TEJADA, H. R. Dissolution of phosphate rocks in acid Colombian soils as related to soil properties. *Soil Science of American Journal*, Madison, v. 44, n. 6, p. 1267-1271, Nov./Dec. 1980.

CIARELLI, D. M.; FURLANI, A. M. C.; DECHEN, A. R.; LIMA M. Genetic variation among maize genotypes for phosphorus uptake and phosphorus use efficiency in nutrition solution. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 21, n. 10, p. 2219-2229, 1998.

CLARK, R. B. Mineral element concentrations of corn plant parts with ag. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 6, n. 4, p. 451-464, 1975.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

CRUZ, J. C.; MONTEIRO, J. de A.; SANTANA, D. P. et al. Fisiologia de produção, p. 85-92. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Recomendação técnica para o cultivo do milho 2.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. p.85-92.

DECARO, S. T.; VITTI, G. C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELLO, W. J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 58, n. 1/2, p. 25-36, jan. 1983.

ENGELSTAD, O. P.; TERMAN, G.L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers In: *Simposium on the role of phosphorus in agriculture, Muscle Shoals, 1976. Proceedings. Madison, ASA, 1980.p311-332.*

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo.* 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAGERIA, N. K. Eficiência de uso de fósforo pelos genótipos de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v. 2, n. 2, p. 128-131, maio/ag. 1998a.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v. 2, n. 1, p. 6-16, jan./abr. 1998b.

FASSBENDER, H. W. Fósforo. In: *Química de solos, com ênfase em solos da América Latina.* Turialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1978. p. 262-307.

FERNANDES, F. M.; FERREIRA, M. E.; MELLO, F. A. F. de. Fontes e doses de adubos fosfatados na cultura da soja em solo de Cerrado In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1983, Curitiba. Resumos...** Curitiba: SBCS, 1983. p.47.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: **REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. Programa e resumos. . .** São Carlos: UFScar, 2000. 235p.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia, Campinas*, v. 44, n. 1, p. 129-147, 1985.

GAMBOA, A. *La fertilización del maíz.* Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1980. 72p. (Boletim IIP, 5).

GANIRON, R. B.; ADRIANO, D. C.; PAULSEN, G. M.; MARPHY, L. S. Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interaction in corn. **Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 33, n. 2, p. 306-309, Mar./Apr. 1969.**

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação da eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, jan./abr. 1984.**

GOEDERT, W. J.; LOPES, A. S. Eficiência Agrônômica de fertilizantes fosfatados para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. In: **SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, 1989, ibrafos. 1987.**

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: **SEMINÁRIO P, CA, MG, S E MICRONUTRIENTES SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVA NA AGRICULTURA, 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: MANAH, 1986. p.21-54.**

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo. Planaltina: ENBRAPA-CPAC, 1986. Documento, 22.

GOURLEY, C. J. P.; ALLAN, D. L.; RUSSELE, M. P. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil, Dordrecht, v. 158, n. 1, p. 29-37, Jan. 1994.**

GUERRA, J. G. M. Produção de sazonal de *Brachiaria decumbens* (*Stapf*), conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. 1993. 234p. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ.

HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility:III. Percentages of N, P and K in different plant parts in relation to stage of growth. **Agronomy Journal, Madison, v. 54, n. 3, p. 222-229, May/June 1962.**

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.**

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Santa Maria, 1997. 31p. Boletim técnico, 3.

KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, New York, v. 30, p. 159- 205, 1978.

LANA, ***** , 1988.

LOPES, A.; GOEDERT, W. J.; GUILHERME, L. R. G. Use of natural and modified phosphate rocks on anual, perennial and foresty crops in Brazil. In: LATIN AMERICAN PHOSPHATE ROCK NETWORK MEETING, 2., 1991, San Cristóbal. p.1- 25.

LOPES, A. S. Fosfatos naturais In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. p. 65-66.

LOPES, A. S. The use of phosphate rocks to build up soils phosphorus and increase food production in acid soils: the brazilian experience. In: JOHNSTON, A. E.; SYERS, J. K. Nutrient management for sustainable crop production in Asia. Wallingford: Cab International, 1998. p.121-131.

LOPES, A. S.; VASCONCELOS, C. A.; NOVAIS, R. F. de. Adubação fosfatada em algumas culturas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. In: Adubação fosfatada no Brasil, Brasília, 1982. p.176-178..

MACHADO, C. T. de T. Avaliação da eficiência de utilização de fósforo de variedades locais de milho (*Zea mays* L.). 1995a. CD-ROM. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ.

MACHADO, C. T. de T.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; MACHADO, A. T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 1, p. 109-124, 1999.

MACHADO, J. A. Estresse ambiental: considerações econômicas. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O milho em perspectiva, 1992, Belo Horizonte. Anais... Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS/CIMMYT/UNDP, 1995. p.13-40** .

MACKAY, A. D.; BARBER, S. A. Soil moisture effects on potassium uptake by corn. **Agronomy Journal, Madison, v. 77, n. 4, p. 524-527, July/Aug. 1985a.**

MACKAY, A. D.; BARBER, S. A. Soil moisture effects on root growth and phosphorus uptake by corn. **Agronomy Journal, Madison, v. 77, n. 4, p. 519-523, July/Aug. 1985b.**

MALAVOLTA, E.; PONCHIO, C. O. Utilização eficiente do fósforo no sistema solo-planta. **SEMINÁRIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO, 1987, Ibrafos. 1987.**

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicação. Piracicaba: Potafos, 1997. 472p.

MARQUES, R. Efeitos de fósforo e zinco na nutrição e crescimento de porta-enxertos de seringueira. Lavras: UFLA, 1990. p.

MENGEL, D. B.; BARBER, S. A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal, Madison, v. 66, n. 3. p. 399-402, May/June 1974.**

MENGEL, K. A consideration of factors which affect the potassium requirements of various crops. In: **CONGRESS INTERNATIONAL OF THE POTASH INSTITUTE, 11., 1978, Bern. Proceedings.... Bern: International Potash Institute, 1978. p. 225-237.**

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MIRANDA, L. N. de; AZEVEDO, J. A. de; MIRANDA, J. C. C. de; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p. 703-710, abr. 2000.**

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, May/June 1982.

MUTERT, E. W.; SRI ADININGSIH, J. Tropical upland improvement: comparative performance of different phosphorus sources. In: **JOHNSTON, A. E.; SYERS, J. K.** Nutrient management for sustainable crop production in Asia. Wallingford: Cab International, 1998. p.97-108.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. Nutrição e adubação. In: **FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ.** O milho no Paraná. Londrina, 1982. p.83-104. (IAPAR-Circular, 29).

NAKAYAMA, L. J. I.; MALAVOLTA, E. Aproveitamento pelo feijoeiro de um fosfato natural parcialmente solubilizado. I. Estudos em casa de vegetação com Latossolo Vermelho Amarelo. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.40, p. 745-763, 1983.

NOVAIS, R. F. de. Época de aplicação de fosfato natural em relação a calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, p. 129-133, 1981.

NOVAIS, R. F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In: **COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.** Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. p. 62-64.

NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; RIBEIRO, A. C.; VASCONCELOS, C. A. Solubilização de fosfatos incubados com amostras de Latossolo submetidos a diferentes números de revolvimento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas., v. 9, n. 1, p. 23-26, jan./abr. 1985.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Aplicação localizada do fertilizante fosfatado. In: _____. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG.: UFV, 1999. p.271-288.

OLIVEIRA, P. R. A. de. Efeito do fósforo e zinco na nutrição e crescimento de mudas de mamoeiro e mangabeira. 2000. 185p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PACHECO, R. G; SOUZA JÚNIOR, J. O. de; AGUILAR, M. A. G; CARDOSO, A. A.; MARTINEZ, H. E. P; ARAÚJO, Q. R. de; OLIVEIRA, J. A. Efeitos de doses crescentes e localização de fósforo sobre o crescimento inicial da pupunha. **Resumos FERTbio**, 1998, p. 697.

PERUZZO, G.; POTTKER, D.; WIETHOLTER, S. Avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos naturais reativos de Arad e de Gafsa. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

PINTO, M. V. A. Efeitos de fontes, doses e formas de aplicação do fósforo na produção de feijão. 1979. 56p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RAIJ, B. V. Fósforo In: **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 181-201. 1991.

RAIJ, B. V.; FEITOSA, C. T.; GROHMAN, F. Eficiência agronômica de fosfato naturais brasileiros. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 18., 1981, Salvador. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1981. p. 46-67.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agronômica, 1983. 31p. **Boletim**, 81.

RAIJ, B. V.; VAN DIEST, A. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 51, n. 4, p. 577-589, May 1973.

RAUN, W. R.; BARRETO, H. J. Regional maize grain-yield response to applied phosphorus in central-américa. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 2, p. 208-213, Mar./Apr. 1995.

REIN, T. A. O uso eficiente dos fertilizantes fosfatados e sua solubilidade. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES**, 1.; **ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA**, 6., 1994. Ibrafos, p. 101-126.

REIN, T. A. SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; SOARES, W. V. Utilização dos fosfatos naturais reativos em culturas anuais na região do cerrado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 27., 1999, Brasília. **Resumos...** Brasília: Embrapa/UNB/SBCS, 1999. CD-ROM.

RHEINHEIMER, D. dos S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Mitos e Verdades sobre o uso de fosfatos naturais na agroecologia. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2001. Nota técnica, 1.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALRÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, mar. 1986.

RUIZ, H. A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. Efeito da umidade do solo sobre o volume e o conteúdo de fósforo no exudato xilêmico de soja. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 12, n.1, p. 39-42, jan./abr. 1988.

SÁ, J. C. de M. Sistema de produção de milho visando alta produtividade na região dos Campos Gerais no Centro-Sul do Paraná. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. Cultura do milho - fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p.249-278.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy, New York, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 156-168, fev. 1976.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiology, Rockville, v. 116, n.2, p. 447-453, Feb. 1998.

SILVA, C. R. da; SOUZA, Z. M. de. Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas. Ilha Solteira, 1998. 9p. Trabalho apresentado na disciplina de problemas de Fertilidade dos Solos da FEIS/UNESP.

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 14, n. 1, p. 63-67, jan./abr. 1990.

SOARES, W.; LOBATO, E.; SOUSA, K. M. G.; REIN, T. A. Evaluation of a coarse-ground Gafsa rock phosphate in the recuperation of a degraded pasture on a clayey Dark-Red Latossol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n. 4, p. 819-825, abr. 2000.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; LOBATO; SOARES, W. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: Ciência do solo e qualidade de vida**, 27., 1999, Brasília, DF. Anais... Planaltina: EMBRAPA CERRADOS, 1999. CD-ROM.

SUMNER, M. E.; FARINA, M. P. W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. *Advances in Soil Science*, New York, v. 5, p. 201-236, 1986.

TANAKA, R. T. Efeito do método de aplicação e do período de incubação na eficiência agronômica dos fosfatos. Piracicaba: ESALQ, 1990. 122p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. Soil fertility and fertilizers. 4.ed. New York: Macmillan, 1985. 754p.

WILLET, I. R.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. The essential role of phosphorus in crop production. In: **JOHNSTON, A. E.; SYERS, J. K.** Nutrient management for sustainable crop production in Asia. Wallingford: Cab International, 1998. p.51-59.

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Teor de N (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.....	65
TABELA 2A	Teor de P (g kg^{-1}) em milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.	65
TABELA 3A	Teor de K (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.	66
TABELA 4A	Teor de Ca (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.	66
TABELA 5A	Teor de Mg (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco..	67
TABELA 6A	Teor de S (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.	67
TABELA 7A	Teor de Fe (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.....	68
TABELA 8A	Teor de Mn (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.....	68
TABELA 9A	Teor de Cu (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.....	69
TABELA 10A	Teor de Zn (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.	69

TABELA 11A . Acúmulo de micronutrientes (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.....

70

TABELA 1A Teor de N (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	10.3	11.5	3.5	5.8	18.6
TM	10.6	10.5	5.6	6.0	18.3
FR	11.8	12.7	4.1	6.3	19.1
FA	10.5	9.3	5.9	6.0	17.4
Sulco					
ST	11.5	9.3	4.1	6.1	20.7
TM	9.4	9.7	4.2	6.3	19.4
FR	11.3	8.0	4.2	5.8	20.7
FA	12.9	8.3	4.5	6.3	18.7
Testemunha	10.7	10.8	5.3	6.0	11.7

TABELA 2A Teor de P (g kg^{-1}) em milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	0.40	0.26	0.26	0.43	4.90
TM	0.44	0.27	0.38	0.46	4.01
FR	0.41	0.29	0.30	0.50	4.17
FA	0.47	0.26	0.33	0.40	2.98
Sulco					
ST	0.59	0.33	0.36	0.34	3.47
TM	0.48	0.33	0.26	0.43	5.92
FR	0.50	0.26	0.43	0.41	5.19
FA	0.54	0.26	0.37	0.46	4.68
Testemunha	0.33	0.26	0.30	0.36	3.92

TABELA 3A Teor de K (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	12.18	22.69	9.66	14.70	9.70
TM	12.18	21.43	9.24	13.02	8.86
FR	12.60	22.27	8.82	17.23	8.86
FA	13.44	22.27	12.18	16.81	7.59
Sulco					
ST	13.86	23.11	8.82	13.02	8.86
TM	12.60	25.21	9.24	14.28	10.97
FR	14.70	27.73	10.92	14.70	9.70
FA	13.86	23.11	10.92	15.55	8.86
Testemunha	12.60	18.91	10.92	15.55	8.86

TABELA 4A Teor de Ca (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	8.14	2.84	1.56	1.01	0.60
TM	8.14	2.73	1.41	0.97	0.54
FR	9.10	3.10	1.32	1.25	0.66
FA	5.83	2.85	1.32	1.40	0.72
Sulco					
ST	6.27	2.83	1.50	1.18	0.76
TM	6.58	3.38	1.01	1.10	0.48
FR	7.68	3.32	1.45	1.14	0.51
FA	6.73	3.28	0.99	1.25	0.62
Testemunha	5.78	3.06	1.42	1.07	0.51

TABELA 5A Teor de Mg (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	2.38	1.01	0.95	0.29	1.94
TM	2.36	1.32	1.17	0.36	1.83
FR	2.11	1.04	0.93	0.37	1.77
FA	1.71	1.22	0.98	0.33	1.41
Sulco					
ST	2.44	1.09	0.92	0.24	1.65
TM	2.58	1.53	1.25	0.25	2.72
FR	2.61	1.33	0.87	0.22	2.07
FA	2.63	1.41	0.76	0.27	1.66
Testemunha	2.35	1.23	1.04	0.29	1.83

TABELA 6A Teor de S (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	1.06	0.27	0.21	0.33	0.80
TM	1.46	0.30	0.26	0.34	0.72
FR	0.67	0.51	0.23	0.49	0.85
FA	0.53	2.02	0.23	0.24	0.70
Sulco					
ST	0.74	0.42	0.16	0.44	1.75
TM	0.67	0.57	0.28	0.22	1.43
FR	2.16	0.55	0.19	0.20	1.09
FA	0.87	0.75	0.21	0.27	0.97
Testemunha	0.72	0.54	0.36	0.40	0.55

TABELA 7A Teor de Fe (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo +	Palha	Sabugo	Grão
	Pendão				
	Lanço				
ST	182.80	37.80	48.05	53.16	65.04
TM	169.60	37.00	43.46	50.67	57.86
FR	232.40	34.07	51.92	56.45	59.69
FA	153.90	39.27	49.66	56.16	48.63
	Sulco				
ST	268.90	43.07	52.00	58.13	57.86
TM	175.90	92.86	56.75	55.87	64.89
FR	184.30	43.58	50.10	59.08	60.21
FA	221.80	35.90	47.46	51.04	61.89
Testemunha	180.5	48.99	50.10	42.88	55.52

TABELA 8A Teor de Mn (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo +	Palha	Sabugo	Grão
	Pendão				
	Lanço				
ST	218	29.23	30.90	10.26	15.19
TM	167	18.39	28.68	9.96	13.28
FR	234	32.23	32.13	12.53	13.72
FA	165	27.69	32.75	10.70	10.49
	Sulco				
ST	200	27.40	38.87	9.74	11.81
TM	187	30.84	35.17	10.11	15.04
FR	218	28.06	35.83	10.18	13.36
FA	245	36.26	28.43	13.26	13.43
Testemunha	229	42.57	39.33	11.80	13.65

TABELA 9A Teor de Cu (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	0.40	0.18	0.10	0.17	0.13
TM	0.52	0.22	0.12	0.17	0.11
FR	0.49	0.23	0.10	0.17	0.09
FA	0.36	0.29	0.12	0.15	0.09
Sulco					
ST	0.47	0.23	0.13	0.16	0.13
TM	0.34	0.18	0.11	0.16	0.13
FR	0.84	0.18	0.11	0.16	0.10
FA	0.49	0.22	0.10	0.19	0.14
Testemunha	0.46	0.22	0.12	0.18	0.12

TABELA 10A Teor de Zn (mg kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Folhas	Colmo + Pendão	Palha	Sabugo	Grão
Lanço					
ST	9.64	10.96	16.94	14.17	32.51
TM	13.7	15.70	17.09	26.37	36.30
FR	13.5	20.89	17.62	16.29	39.44
FA	13.5	19.28	23.08	20.09	34.26
Sulco					
ST	13.7	12.78	11.27	6.79	35.86
TM	12.9	14.90	14.66	11.76	39.66
FR	14.9	19.72	19.76	15.93	38.13
FA	26.6	29.07	18.74	24.62	40.10
Testemunha	19.6	26.37	24.34	29.73	42.88

TABELA 11A Acúmulo de micronutrientes (g kg^{-1}) em plantas de milho sob diferentes fontes de fósforo aplicados no lanço e sulco.

	Cu	Zn	Fe	Mn
		Lanço		
ST	9.3	523	3471	3373
TM	9.2	635	3504	3164
FR	9.8	513	4342	2919
FA	15.9	814	4087	3856
		Sulco		
ST	11.6	726	3381	2696
TM	9.6	720	3084	2680
FR	7.4	566	3729	2710
FA	9.8	950	3653	3544
Testemunha	9.8	896	3339	3574

ANEXO B		Página
TABELA 1B	Resumo da análise de variância dos dados de teores de P em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	72
TABELA 2B	Resumo da análise de variância dos dados de acúmulo de P em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	73
TABELA 3B	Resumo da análise de variância dos dados de acúmulo de Zn em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	74
TABELA 4B	Resumo da análise de variância dos dados de produção de matéria seca, número e peso de espigas e produção de grãos do milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	75
TABELA 5B	Resumo da análise de variância dos dados de índices de eficiência para o milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.....	76

TABELA 1 B Resumo da análise de variância dos dados de teores de P em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

		Folha	Colmo + pendão	Palha	Sabugo	Grão
FV	GL	QM				
Tratamento	8	0,024**	0,004 ns	0,013**	0,010 ns	3,297**
Fatorial vs Adicional	1	0,080 **	0,002 ns	0,004ns	0,018 ns	0,878 ns
Fonte	3	0,005 ns	0,003 ns	0,005 ns	0,007 ns	2,048 **
Modo	1	0,073 **	0,005 ns	0,010*	0,010 ns	5,168 **
Fonte x Modo	3	0,009 ns	0,005 ns	0,026 **	0,009 ns	4,728 **
Bloco	3	0,017*	0,005 ns	0,003 ns	0,008 ns	0,152 ns
Erro	24	0,005	0,002	0,002	0,005	0,341
CV (%)		14,6	14,4	14,0	16,1	13,4

** Teste de F significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo à 5% de probabilidade

TABELA 2B Resumo da análise de variância dos dados de acúmulo de P em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

FV	GL	Grão	Palha +	Folhas +	Conteúdo Total
			Sabugo	Colmo	
		QM			
Tratamento	8	267834342 **	401461*	6060361 **	292427236 **
Fatorial vs Adicional	1	161724117 **	637602 *	17096140**	311534080 **
Fonte	3	227371747 **	141307 ns	181504 ns	231504590 **
Modo	1	1991509032 **	9.0312 ns	13664685**	317255455 **
Fonte x Modo	3	3666561492 **	716718 **	5725851 **	338704860 **
Bloco	3	43918708 ns	121425 ns	16137477**	114838493**
Erro	24	16071730	122326	948246	16753283
CV (%)		12,1	17,9	10,6	9,2

** Teste de F significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo à 5% de probabilidade

TABELA 3B Resumo da análise de variância dos dados de acúmulo de Zn em partes da planta de milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

		Grão	Palha + Sabugo	Folhas + Colmo"	Conteúdo Total"
FV	GL	QM			
Tratamento	8	1869,1 ns	5751,7**	42098,2**	29.391**
Fatorial vs Adicional	1	563,9 ns	8684,3**	49510,8**	41.447**
Fonte	3	3112,2 ns	4750,8**	63130,28**	40.253**
Modo	1	1339,03 ns	8190,6**	33125,54**	17.919 ns
Fonte x Modo	3	1237,61 ns	4962,0**	21586,16**	18.3347*
Bloco	3	355,78 ns	555,4 ns	56877,37**	37.187**
Erro	24	1162,8	586,0	5543,86	4.864
CV (%)		12,0	9,6	11,5	7,9

" Dados transformados em \sqrt{x}

** Teste de F significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo à 5% de probabilidade

TABELA 4B Resumo da análise de variância dos dados de produção de matéria seca, número e peso de espigas e produção de grãos do milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

FV	GL	Matéria seca	Nº de	Peso de Espigas	Produção de
		Parte aérea	espigas		Grãos
		QM			
Tratamento	8	30549044.4*	19053372**	4209563,9**	1946487,9**
Fatorial vs Adicional	1	7172893.7 ns	27800939 *	4929538,3 *	2280002,2 *
Fonte	3	3403567.2 ns	28548503 *	2601908,0 ns	1203427,0 ns
Modo	1	4385981.5 ns	17529570 *	545517,8 ns	251625,9 ns
Fonte x Modo	3	74207592.8**	4952085 ns	5661002,0 **	2617425,0 **
Bloco	3	54392867**	35485265**	2647363,7 ns	1224705,5 ns
Erro	24	10893482	3956011	979414,5	452952,9
CV (%)		10,5	3,5	8,9	8,9

** Teste de F significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo à 5% de probabilidade

TABELA 5B

Resumo da análise de variância dos dados de índices de eficiência para o milho adubado com diferentes fontes e modos de aplicação de fósforo.

FV	GL	IEA	IER	IEU	IEP	IEF
		QM				
Tratamento	8	0.0358**	0.0109**	2850.5**	11018.8**	859.4**
Fatorial vs Adicional	1	0.2239**	0.0001 ns	1080.04 ns	1132.17 ns	6465.2**
Fonte	3	0.0073**	0.0078 **	1984.66**	8661.06**	37.15*
Modo	1	0.0116**	0.00001ns	6591.82**	12119.7**	18.94 ns
Fonte x Modo	3	0.0292**	0.02112**	3059.38**	16305.1**	93.21 **
Bloco	3	0.0272**	0.0026 ns	276.147 ns	701.81ns	41.48*
Erro	24	0.0004	0.0011	413.64	1263.98	12.33
CV (%)		9.4	4.5	11.5	14.7	9.3

** Teste de F significativo a 1% de probabilidade

* significativo a 5% de probabilidade

ns não significativo à 5% de probabilidade