

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

LUIZ FELIPE DE ARAÚJO SQUISSATO

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS DE BAIXA SOLUBILIDADE

**UBERLÂNDIA – MG
JANEIRO – 2020**

LUIZ FELIPE DE ARAÚJO SQUISSATO

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS DE BAIXA SOLUBILIDADE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Professor Dr. Hamilton Seron Pereira

**UBERLÂNDIA – MG
JANEIRO – 2020**

RESUMO

Grande quantidade de P é aplicada nas culturas, porém apenas de 5% a 20% é absorvido pelas plantas em decorrência do fenômeno de fixação que ocorre no solo. Os fosfatos naturais apresentam, normalmente, menor eficiência, em especial no ano da aplicação e nas culturas anuais, as quais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo. Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação. Esses fosfatos podem ser considerados como fontes alternativas em relação aos fosfatos acidulados, por serem mais baratos e agronomicamente efetivos sob certas condições de solo, manejo e cultura. O experimento foi montado em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 + 1 testemunha e quatro repetições. Sendo 2 fontes de fosfato natural (FN), 1 fonte parcialmente acidulada (FPA) e 1 fonte solúvel (SFT) com duas doses de P₂O₅ (200 e 400 kg ha⁻¹). Os tratamentos foram aplicados em todo solo em vasos com 5 Kg de solo. Objetivou-se avaliar a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) dos fosfatos em plantio sucessivo de milho e sorgo em casa de vegetação. Realizaram as seguintes avaliações: teor no solo de P (Mehlich e resina), Ca e Mg; teor na planta de P, Ca e Mg e massa seca de planta. Valores de EAR mostraram que em solo arenoso as fontes fosfato natural e parcialmente acidulada tem eficiência de 50 a 97% aos 50 DAA na maior dose avaliada. Além disso, foi verificado um parcial efeito residual de 40 % em relação ao SFT, utilizando a fonte FN 15.

Palavras Chave: Fósforo, fosfato natural, eficiência agronômica relativa, efeito residual, fosfatagem.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVO.....	6
3. REFERENCIAL TEÓRICO	6
3.1. Fósforo no solo	6
3.2. Fósforo na planta	7
3.3. Fertilizantes fosfatados	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1. Delineamento.....	9
4.2. 1º cultivo (milho).....	11
4.3. 2º cultivo (sorgo)	12
4.4. Avaliações	13
4.5. Cálculo da Eficiência Agronômica Relativa (EAR).....	14
4.6. Análises estatísticas	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1. 1º cultivo.....	15
5.1.1. Análises de solo.....	15
5.1.2. Massa seca de parte aérea.....	18
5.1.3. Cálculo do equivalente em SFT	19
5.1.4. Nutrientes na parte aérea	21
5.1.5. Eficiência agronômica relativa (EAR)	26
5.2. 2º cultivo.....	27
5.2.1. Análises de solo.....	27
5.2.2. Massa seca de parte aérea.....	31
5.2.3. Cálculo do equivalente em SFT	32
5.2.4. Nutrientes na parte aérea	34
5.2.5. Eficiência agronômica relativa (EAR)	38
6. CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros têm baixa fertilidade natural devido à alta acidez, baixa saturação por bases, e baixa disponibilidade de nutrientes, na qual o fósforo (P) é destaque. De modo geral, esses solos apresentam alta capacidade de adsorção de P, diminuindo a disponibilidade deste elemento para as plantas. Além disso, outro fato que influencia no aproveitamento de P pelas culturas está relacionado à baixa eficiência na absorção e utilização do P, característica apresentada pela maioria das variedades modernas das culturas empregadas comercialmente (NOVAIS E SMYTH, 1999).

Grande quantidade de P é aplicada nas culturas, porém apenas de 5% a 20% é absorvido pelas plantas em decorrência do fenômeno de fixação que ocorre no solo (RAIJ et al, 1996). Devido a esse fator torna-se necessário a utilização de fontes de P que apresentem boa disponibilidade do nutriente durante o ciclo da planta.

Os fosfatos naturais apresentam, normalmente, menor eficiência, em especial no ano da aplicação e nas culturas anuais, as quais apresentam alta demanda de P num curto espaço de tempo (GOEDERT et al., 1986; GOEDERT E LOPES, 1987; RAIJ, 1991; SOUSA E LOBATO, 2003). Já os fosfatos solúveis em água mais vendidos no Brasil como superfosfato simples e triplo aumentam rapidamente o teor de P no solo, no entanto sua disponibilidade é diminuída ao longo do tempo devido ao processo de adsorção do fósforo e/ou absorção pelas plantas.

Segundo Novais & Smyth (1999), o ideal seria ter um produto com solubilidade homogeneamente intermediária, entre fosfatos naturais de baixa reatividade e fosfatos acidulados de liberação rápida de fósforo para o meio.

No Brasil as pesquisas com avaliação agrônômica com fontes de fósforo aumentaram consideravelmente a partir do início década dos anos 70, em face da elevação do preço dos fertilizantes fosfatados solúveis da dependência do país do seu suprimento do exterior (BRAGA et.al.,1980; DEFILIPPE, 1980). Devido à alta importação de fosfatos e ao preço elevado, deve-se procurar novas fontes nacionais e estrangeiras. Desde a década de noventa, a

procura por fontes alternativas de fosfato tem sido uma preocupação constante (NOGUEIRA, 1990).

2. OBJETIVO

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência agronômica de fosfatos de baixa solubilidade (fosfatos naturais e parcialmente acidulados), comparada à de um fosfato solúvel, para as culturas de milho e sorgo, em cultivo sucessivo em casa de vegetação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Fósforo no solo

Os solos do Brasil, principalmente solos do Cerrado possuem baixo teor de P disponível, pelas reações de dissolução/precipitação dos minerais carreadores de P, adsorção/dessorção do fosfato nas superfícies dos componentes do solo e a hidrólise da matéria orgânica, controlando as quantidades de P na solução do solo (MALAVOLTA, 2006; HINSINGER, 2001).

Após aplicado no solo, o P tende a precipitar-se com ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn), ou ainda, ser adsorvido pela superfície das argilas e dos óxidos de Fe e Al, formando compostos de menor solubilidade, consequência da mineralogia e pH desses solos (SOUSA e LOBATO, 2002; EMBRAPA, 2007; NOVAIS et al., 2007).

Quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidado for o solo, mais intensa pode ser a indisponibilização do P (EMBRAPA, 2007). Com isso, principalmente nesse tipo de solo, tornam-se necessárias aplicações de P superiores às requisitadas pelas culturas pelo fato desses compostos serem insolúveis e indisponíveis às plantas apesar de a mobilidade do P no solo ser mínima e, assim, suas perdas por lixiviação serem desprezíveis (CAIONE, 2011).

Segundo Peres et al., (2014), tendo conhecimento de como as características do solo influenciam na disponibilidade de P, fica implícita a sua importância para a determinação da forma e dose aplicadas do fertilizante fosfatado, além da cultura, do clima e do sistema de cultivo adotado.

3.2. Fósforo na planta

O P absorvido pelas plantas é em maior parte ortofosfato primário (H_2PO_4^-), sendo pequenas quantidades do íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) absorvidas, independente da fonte aplicada, mas a relação desses íons na absorção pelas plantas depende do pH do solo (LOPES, 1989).

Este nutriente é importante em uma série de processos fisiológicos das plantas, sendo mais conhecido pela sua função de transferência de material genético e energia para o crescimento e reprodução dos vegetais. O P é um nutriente móvel nos tecidos das plantas estando presente nas regiões de crescimento mais ativo, apresentando deficiências inicialmente nas folhas mais velhas, tornando-as mais finas, estreitas, curtas e arroxeadas (ESTÉVES, 1986; STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Quando as plantas estão adequadamente nutridas, de 85% a 95% do P orgânico encontra-se nos vacúolos e na ocorrência de deficiência o P não metabolizado sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos mais novos (VITTI et al., 2004). A deficiência de P é mais expressamente demonstrada pela redução do crescimento da planta, devido afetar a formação das folhas, prejudicando assim a quantidade de clorofila.

3.3. Fertilizantes fosfatados

No mundo, mais de 99% dos fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de reservas de rochas fosfáticas pelo tratamento com ácidos (LOPES et al., 2004; GODOY et al., 2012).

Para a produção de fertilizantes fosfatados no Brasil, os minerais de apatita são a matéria-prima básica. De acordo com Korndörfer et al., (1999), as fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As principais fontes de P utilizadas são os fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples – SSP e superfosfato triplo – SFT), os fosfatos de amônio (monoamônio fosfato – MAP e diamônio – DAP) obtidos por acidulação total, termofosfato (termofosfato magnesiano) obtido por processos térmicos com consumo de elevada quantidade de energia. Os fosfatos alternativos (parcialmente acidulados e compactados) e os fosfatos naturais (fosfatos insolúveis) são obtidos pela

moagem da rocha fosfática com reatividade e eficiência agrônômica relativa dependendo da mineralogia da rocha (PROCHNOW et al., 2004; EMBRAPA, 2007).

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação. A eficiência dos fosfatos naturais está relacionada principalmente com os seguintes fatores: origem, tamanho das partículas, propriedades do solo, modo de aplicação, preparo do solo e cultura (HOROWITZ; MEURER, 2004). Esses fosfatos podem ser considerados como fontes alternativas em relação aos fosfatos acidulados, por serem mais baratos e agronomicamente efetivos sob certas condições de solo, manejo e cultura (SANCHEZ; UEHARA, 1980; BARBOSA FILHO, 1987; RAJAN et al., 1996; RESENDE et al., 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram implantados na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU, em Uberlândia, MG, durante o período de 240 dias. Cada experimento foi implantado em um tipo de solo, sendo que para o primeiro utilizou-se dos 20 cm superficiais, de um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura muito argilosa e para o segundo, um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), textura arenosa, cuja caracterização química e física são apresentadas nas tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Caracterização química das amostras de solo utilizadas no experimento.

Solos	pH	P	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		mg dm ⁻³							
				-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----
LVd	4,3	1,9	0,7	0,05	0,6	0,2	0,85	7,5	12
RQo	4,8	1,1	0,3	0,03	0,7	0,3	1,03	3,8	27

Observações: P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (SPT 1 N); M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / V = Sat. por Bases

Tabela 2. Caracterização física das amostras de solo utilizadas no experimento.

Solo	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----			
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico Típico	90	43	33	834
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	626	218	1	155

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

As amostras de solo depois de coletadas foram peneiradas ainda úmidas e em seguida submetidas a processo de incubação por 15 dias, em vasos com capacidade para 6 L, contendo 5 kg de solo. Esse processo de incubação consistiu em deixar o solo em repouso para que a reação dos corretivos acontecesse. Nesse caso foram aplicados CaCO_3 (P.A) e MgCO_3 (P.A.) e água nas seguintes proporções: RQo: 2,6 g de CaCO_3 por kg de solo^{-1} ; 0,6 g de MgCO_3 por kg de solo^{-1} ; 200 mL H_2O por kg de solo^{-1} ; LVd: 7,0 g de CaCO_3 por kg de solo^{-1} ; 2,0 g de MgCO_3 por kg de solo^{-1} ; 260 mL H_2O por kg de solo^{-1} , de modo que assim a relação Ca:Mg fosse corrigida para 3:1 e a saturação por bases elevada para 70%. Realizou-se o mesmo processo de aplicação de CaCO_3 (P.A) e MgCO_3 (P.A.) antecedendo o segundo cultivo com a cultura do sorgo com as mesmas dosagens utilizadas no primeiro.



Figura 1A



Figura 1B

Figura 1. Detalhes da aplicação dos corretivos no solo (figura 1A). Incubação por 15 dias com os corretivos (figura 1B).

4.1. Delineamento

O experimento foi montado em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4 (Fonte) x 2 (Dose) + 1 (Testemunha), sendo 9 tratamentos (Tabela 3) e quatro repetições. Foi adicionado ainda um outro tratamento (SFT na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5) visando análise de regressão e cálculo da equivalência em SFT (EqSFT). Os dois solos receberam os mesmos tratamentos, dos quais, o tipo de fertilizante e a dose aplicada estão apresentados abaixo (Tabela 3).

Tabela 3. Tipo de fertilizante e quantidade de nutrientes fornecidas ao solo em cada tratamento.

Tratamento	Fonte de P	Dose P ₂ O ₅	
		kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹
Test	-	0	0
2	SFT - Granulado*	100	50
3	SFT - Granulado	200	100
4	SFT - Granulado	400	200
5	FN ¹ DuSolo 12 - Farelado	200	100
6	FN ¹ DuSolo 12 - Farelado	400	200
7	FN ¹ DuSolo 15 - Farelado	200	100
8	FN ¹ DuSolo 15 - Farelado	400	200
99	FPA ² DuSolo SSP2 - Granulado	200	100
10	FPA ² DuSolo SSP2 - Granulado	400	200

¹Fosfato Natural; ²Fosfato Parcialmente Acidulado; *Tratamento para análise de regressão e cálculo de equivalência.

As principais características das fontes de P utilizadas nos experimentos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização das fontes de P e S, com relação aos teores de P₂O₅ total, em H₂O, em CNA+H₂O e em ÁC² 1:100 e Ca e S.

Fonte de P e S	P ₂ O ₅		Ca Total	S Total
	CNA ¹ +H ₂ O	ÁC ² 1:100		
	----- % -----			
SFT	41	-	46	13
FN ³ DuSolo 12	-	7,1	12,1	9
FN ³ DuSolo 15	-	7,7	15,5	16,1
FPA ⁴ DuSolo SSP2	6,6	6,2	13,1	10,9

Laboratório: TERRA Análises para Agropecuária – Goiânia-GO; ¹CNA = citrato neutro de amônio; ²ÁC = Ácido Cítrico a 2%; ³Fosfato Natural; ⁴Fosfato Parcialmente Acidulado.

Os tratamentos foram aplicados ao volume total de solo das parcelas, na data da semeadura do milho. Todos os tratamentos receberam a mesma dose de N (200 kg ha⁻¹, fonte sulfato de amônio), K₂O (166 kg ha⁻¹, fonte KCl) e micronutrientes (50 kg ha⁻¹, fonte FTE BR12).



Figura 2

Figura 2. Detalhes da aplicação do fosfato natural, N e KCl no dia do plantio do milho.

4.2. 1º cultivo (milho)

Em seguida à aplicação dos tratamentos, foi realizada a semeadura de 10 sementes de milho (híbrido DKB 390 VTPRO), a, aproximadamente, 3 cm de profundidade e 10 dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste das plantas, deixando apenas as quatro plantas mais vigorosas por vaso. Aos 24 e 32 DAS foram feitas adubações foliares com micronutrientes para correção de sintomas iniciais de deficiência. Para tal, foi utilizado o produto Starter® (5% N; 4,7 % S; 0,3% B; 0,3% Cu; 3% Mn; 5% Zn), na concentração de 10 mL L⁻¹ e volume de aplicação de 17 mL vaso⁻¹. Aos 15 e 30 DAS foi realizada aplicação da adubação nitrogenada de cobertura na dose de 100 kg ha⁻¹ N e para isso utilizou-se (NH₄)₂SO₄ em solução, com concentração de 50 g L⁻¹ e volume de aplicação de 10 mL kg de solo⁻¹.

Durante todo o experimento, o fornecimento de água se deu por meio de aplicação manual nos vasos aplicada diretamente ao solo. A quantidade fornecida foi suficiente para que em média se tivesse água disponível no solo em valores próximos a 80% da capacidade de campo. Após a colheita de milho, os solos dos vasos foram passados em uma peneira de 2 mm para remoção das raízes e preparação do solo para o cultivo de sorgo.



Figura 3A



Figura 3B



Figura 3C

Figura 3. Momento do plantio do milho (figura 3A). Detalhes do desbaste de plantas, restando apenas 4 plantas por vaso (figura 3B). Panorâmica de um bloco do experimento em casa de vegetação no dia da colheita aos 50 dias após aplicação e plantio. (figura 3C).

4.3. 2º cultivo (sorgo)

Aos 120 dias após aplicação dos tratamentos e após 70 dias da colheita do milho foi realizada a semeadura de 10 sementes de sorgo (cultivar AGN80G80), a, aproximadamente, 3 cm de profundidade e 10 dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste das plantas, deixando apenas as três plantas mais vigorosas por vaso. Aos 15 e 30 DAS foi realizada aplicação da adubação nitrogenada de cobertura na dose de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e para isso utilizou-

se $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em solução, com concentração de 50 g L^{-1} e volume de aplicação de 10 mL kg de solo⁻¹. Realizou-se o mesmo processo de aplicação de CaCO_3 (P.A) e MgCO_3 (P.A.).

Durante todo o experimento, o fornecimento de água se deu por meio de colocação manual nos vasos aplicada diretamente ao solo. A quantidade fornecida foi suficiente para que em média se tivesse água disponível no solo em valores próximos a 80% da capacidade de campo.

4.4. Avaliações

No final de ambos os cultivos (milho e sorgo) as plantas foram cortadas e, em seguida acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60° C por 5 dias (Figura 4A). Depois de secas, as plantas foram submetidas à pesagem de matéria seca em balança de precisão com duas casas decimais (Figura 4B).

Para as análises de P, Ca e Mg na parte aérea, o material vegetal foi moído em moinho tipo Willey, e acondicionado em sacos plásticos até a realização das análises segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Utilizando os resultados dessa análise e de massa seca foram calculadas as quantidades de P, Ca e Mg acumulados (massa seca x teor do nutriente na massa seca).

Ainda, com o auxílio de um mini-trado para vasos, foram coletadas amostras de solo aos 50 dias após aplicação dos tratamentos (após o cultivo de milho) e uma segunda coleta aos 184 dias após aplicação dos tratamentos (após o cultivo de sorgo) (Figura 4C), para serem secas ao ar e posteriormente peneiradas e acondicionadas em sacos plásticos visando determinação do P disponível no solo com o extrator Mehlich-1 e Resina. Além do P foram analisados os teores de Ca e Mg do solo pela metodologia descrita por Raij et al. (2001).



Figura 4A



Figura 4B



Figura 4C

Figura 4. Detalhe da colheita das parcelas (4A); Pesagem de massa seca de milho (4B); Detalhe da coleta de solo nas parcelas (4C).

4.5. Cálculo da Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Utilizando o peso de matéria seca da parte aérea (MSPA) de cada cultivo (milho e sorgo), foi calculada a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de fósforo para cada tipo de solo conforme a seguinte expressão (Eq. 1):

$$\text{Eq. 1} = \text{EAR (\%)} = \frac{\text{MSPA Fofato DuSolo} - \text{MSPA sem fósforo}}{\text{MSPA com SFT} - \text{MSPA sem fósforo}} \times 100$$

4.6. Análises estatísticas

Os resultados dos tratamentos qualitativos foram submetidos à análise de variância, com auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância e cada tratamento comparado com a testemunha pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância.

As doses crescentes de SFT foram submetidas a análise de regressão para avaliação e equivalência em SFT (EqSFT) pelo software SISVAR a 0,05 de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. 1º cultivo

5.1.1. Análises de solo

Após 50 dias da aplicação das fontes de P, os teores de P com extrator Mehlich-1 foram maiores na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com o superfosfato triplo (SFT), fosfato natural (FN) DuSolo 12 e 15 (Tabela 5). Além disso, ao observar os teores de P no solo (LVd e RQo) em função da fonte, melhores resultados foram observados com o FN DuSolo 12 e 15, mas, destacando-se teores elevados no solo com o tratamento FN DuSolo 15 (17,7 e 34,2 mg dm⁻³ de P₂O₅ – LVd; 70,6 e 156,0 mg dm⁻³ de P₂O₅ – RQo), em comparação com a testemunha e demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de P extraídos por Mehlich-1, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg dm ⁻³ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,4					
200		3,3 bB	7,2 bB	17,7 aB*	4,7 bA	8,2
400		11,7 cA*	18,8 bA*	34,2 aA*	3,0 dA	16,9
Média		7,5	13,0	26,0	3,8	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	5,5					
200		20,6 bA	57,2 aB*	70,6 aB*	37,2 bA	46,4
400		46,3 cA*	106,8 bA*	156,0 aA*	33,3 cA	85,6
Média		33,5	82,0	113,3	35,3	

LVd = CV % = 32,32; DMS_{Dunnet} = 38,76;

RQo = CV % = 30,52; DMS_{Dunnet} = 6,94;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Esse comportamento pode ser justificado devido ao tipo de extrator utilizado para quantificação do P nas amostras experimentais, visto que o extrator Mehlich-1 é um ácido que pode favorecer a dissolução do P ainda não disponível aplicado via fosfato natural (insolúvel). Outro fato importante é que o tratamento SFT (solúvel) e fosfato parcialmente acidulado

(FPA) apresentaram menores teores de P no solo em ambos os experimentos, que se explica pela possível extração do elemento pelas plantas de milho e fixação do elemento no solo, como se observa no solo Latossolo Vermelho distrófico (Tabela 5). Sousa; Lobato, (2004); Raij, (2004) ao avaliar a disponibilidade de P pelo extrator Mehlich1, verificaram que esse superestima a disponibilidade de P para a cultura subsequente, pois solubiliza parte do fosfato natural reativo ainda não dissolvido no solo.

Para os resultados com Fosforo Resina, podemos observar uma menor extração do nutriente, sendo que a proposta é simular em laboratório a extração do P pela planta, com isso obtendo resultados similares em campo, ao modo que sua capacidade de troca de ânions da resina é considerada alta (RAIJ, 1991).

A tabela 6 demonstra que a extração utilizando do P – Resina, a planta extrai uma quantidade de maior similaridade com o solo, isso nos remete, que a metodologia consegue discernir o comportamento da planta perante o fertilizante, desenvolvendo margens para a melhor qualificação da solubilização do P no solo e na planta.

Tabela 6. Teores de P extraídos por resina, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg dm ⁻³ -----						
LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)						
0	0,8					
200		1,5 bB	1,6 bB	4,4 aB*	1,1 bA	2,1
400		4,0 bA*	3,1cA*	5,4 aA*	1,4 dA	3,5
Média		2,7	2,4	4,9	1,3	
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo)						
0	0,9					
200		1,6 bB	1,9 bB	2,8 aB*	1,8 bA	2,0
400		4,4 aA*	3,9 aA*	4,6 aA*	2,2 bA*	3,8
Média		3,0	2,9	3,7	2,0	

LVd = CV % = 19,2; DMS_{Dunnet} = 1,0;

RQo = CV % = 22,7; DMS_{Dunnet} = 1,2;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

De acordo com a classificação de Sousa e Lobato (1996), apenas a fonte FPA DuSolo SSP2 não atingiu o nível considerado BOM aplicando 400 Kg ha⁻¹ no solo argiloso, enquanto apenas a fonte FN DuSolo 15 na dose de 200 Kg ha⁻¹ elevou ao nível desejado neste mesmo solo. No solo arenoso, todas as fontes obtiveram aumento significativo com a dose de 400 Kg ha⁻¹, e também como acontece no solo argiloso, a fonte FN DuSolo 15 na dose de 200 Kg ha⁻¹ se mostrou significativa em relação a testemunha.

Em relação aos teores de Ca, não houve diferenças significativas entre as doses, todavia, nos tratamentos FN DuSolo 15 e SSP2, os teores médios de Ca no solo (2,0 e 2,3 cmol_cdm⁻³ de Ca) foram maiores em comparação com o SFT e FN DuSolo 12 (Tabela 7). Em ambos os experimentos (LVd e RQo), os teores de cálcio variaram entre 1,3 a 2,8 cmol_cdm⁻³ de Ca.

Tabela 7. Teores de cálcio, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	1,6					
200		1,9	1,8	1,8	1,9	1,8
400		2,1	1,7	2,0	2,0	1,9
Média		2,0 a	1,7 a	1,9 a	2,0 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	1,8					
200		1,3	2,1	1,9	2,8	2,0
400		1,9	1,8	2,8	2,6	2,3
Média		1,6 b	2,0 b	2,3 a	2,7 a	

LVd = CV % = 14,43; DMS_{Dunnet} = 0,55;

RQo = CV % = 28,08; DMS_{Dunnet} = 1,22;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Aos 50 dias após aplicação dos tratamentos, não constatou-se diferenças significativas nos teores de Mg no solo, que variaram entre 0,5 a 0,6 cmol_cdm⁻³ para o LVd e 0,3 a 0,5 cmol_cdm⁻³ para o RQo (Tabela 8).

Tabela 8. Teores de Mg, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,5					
200		0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
400		0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
Média		0,5 a	0,5 a	0,6 a	0,5 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,3					
200		0,3	0,4	0,5	0,3	0,4
400		0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
Média		0,4 a	0,4 a	0,4 a	0,3 a	

LVd = CV % = 23,28; DMS_{Dunnett} = 0,26;

RQo = CV % = 39,95; DMS_{Dunnett} = 0,32;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

5.1.2. Massa seca de parte aérea

Para produção de massa seca de plantas de milho colhidas aos 50 dias após aplicação dos tratamentos, observou-se que houve influência das doses de P₂O₅ em função das fontes aplicadas (Tabela 9). Maiores ganhos de massa seca observadas utilizando a fonte FPA, podem ser correlacionadas ao maior poder de absorção de P, uma vez que, seu teor nos dois solos não foram elevados.

No experimento conduzido em solo de textura argilosa (LVd), ao comparar as fontes, maior produção de massa seca foi verificada no tratamento SFT (29,8 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 52,0 g na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), seguido do tratamento FPA DuSolo SSP2 (13,2 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 26,9 g na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Tabela 9). Além disso, somente os tratamentos SFT e FPA DuSolo SSP2 diferiram entre as doses de P₂O₅ e testemunha (3,6 g). Resultados similares para massa seca de plantas foram obtidos por Nicchio (2015), com a utilização de fosfatos naturais e parcialmente acidulados.

No experimento instalado em solo de textura arenosa (RQo), ao comparar as fontes aplicadas, a produção de massa seca foi maior com o tratamento SFT (33,0 g) na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, seguido do FPA DuSolo SSP2, FN DuSolo 15 e 12 (Tabela 9). Contudo, quando aplicado a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ somente com o FN DuSolo 12 (18,5 g) observou-se resposta diferente das demais fontes. Em relação as doses avaliadas, verificou-se que os fosfatos DuSolo quando aplicados na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, apresentaram maior produção de massa seca de plantas de milho comparado com a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em relação a testemunha (3,8 g) somente com o tratamento FN DuSolo 12 (8,0 g) na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a produção de massa seca de plantas de milho não diferiu estatisticamente (Tabela 9).

Tabela 9. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de milho, cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----g-----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	3,6					
200		29,8 aB*	3,9 cA	5,1 cA	13,2 bB*	13,0
400		52,0 aA*	6,3 cA	7,0 cA	26,9 bA*	23,0
Média		40,9	5,1	6,04	20,0	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	3,8					
200		33,0 aA*	8,0 dB	15,8 cB*	22,7 bB*	19,9
400		31,6 aA*	18,5 bA*	25,5 aA*	30,7 aA*	26,6
Média		32,3	13,2	20,7	26,7	

LVd = CV % = 24,63; DMS_{Dunnet} = 8,18;

RQo = CV % = 20,05; DMS_{Dunnet} = 8,54;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

5.1.3. Cálculo do equivalente em SFT

Para o cálculo da dose equivalente em SFT (fonte padrão) e os fosfatados DuSolo, realizou-se análise de regressão com a massa seca obtida com a aplicação de SFT, ou seja, a

dose de SFT que produziria a mesma quantidade de massa seca com os fosfatados insolúveis (Figura 5).

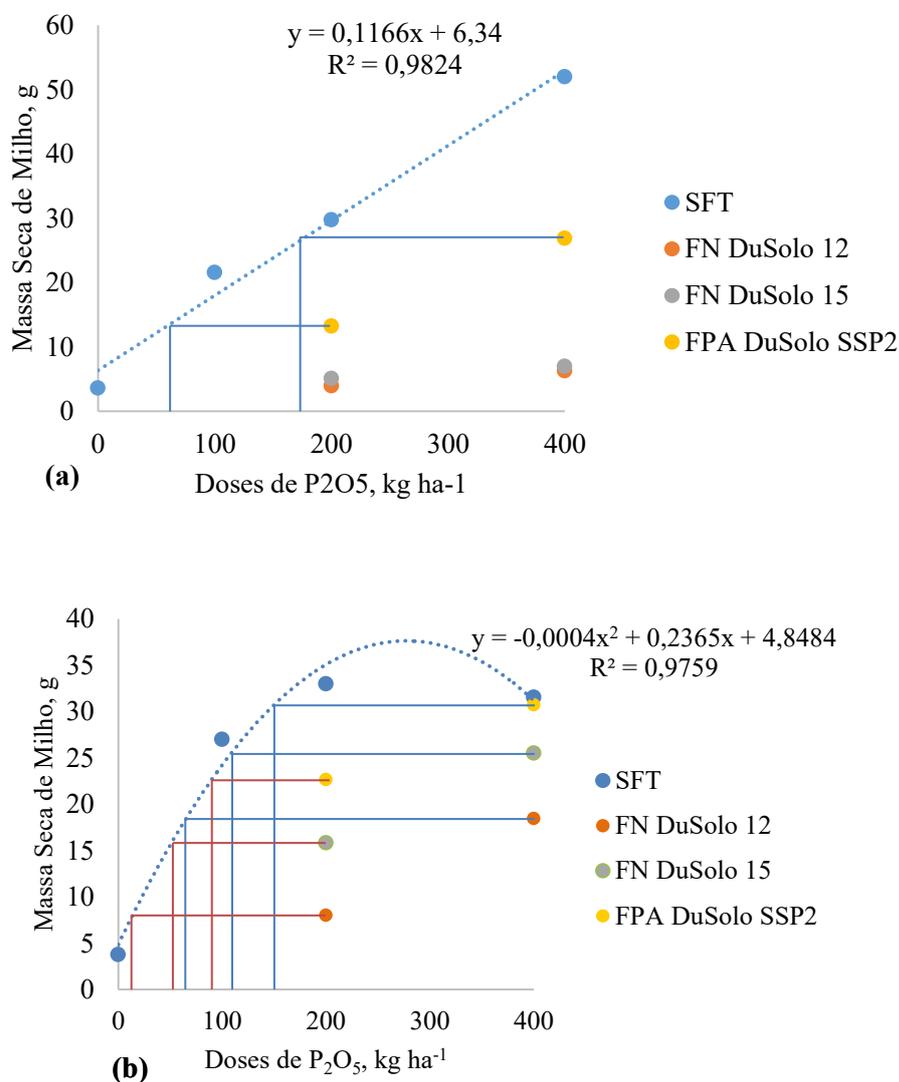


Figura 5. Doses de SFT na Produção de Massa Seca de plantas de milho cultivadas em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (a) e em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (b).

Para o Latossolo Vermelho distrófico a produção média de massa seca de plantas de milho foi de 53,0 g com aplicação da dose máxima (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT). Conforme observa-se na figura 5A, para a produção com aplicação de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FPA, seria necessário o equivalente de 58,9 e 176,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT para obter a mesma produção. As outras duas fontes de fosfatos insolúveis (FN 12 e FN 15) mesmo

utilizando da dose maior, não obtiveram resposta significativa comparadas com a testemunha, a qual não houve como obter um equivalente aplicação de P do SFT..

No solo de textura arenosa (RQo), a produção máxima de massa seca estimada foi de 35,4 g com uma dose máxima estimada de 295,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT. Para que a produção de massa seca de plantas de milho com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FN 12, FN 15 e FPA sejam alcançadas com SFT, seriam necessárias as aplicações de 14, 50 e 89 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT, respectivamente. Para alcançar a mesma massa seca com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FN 12, FN 15 e FPA, necessitaria de aplicar-se 65, 106,5 e 145 Kg ha⁻¹ via SFT, respectivamente (Figura 5b).

5.1.4. Nutrientes na parte aérea

Para os teores de P em plantas de milho, não houve influência dos tratamentos no Latossolo Vermelho distrófico, mas o tratamento FPA DuSolo SSP2 diferiu da testemunha com 1,2 g kg⁻¹ de P (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de P em massa seca de plantas de milho, cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----g kg ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,7					0,7
200		0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
400		0,8	0,9	0,8	1,2*	0,9
Média	0,7	0,8 a	0,9 a	0,8 a	1,0 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,8	-	-	-	-	
200		1,8*	1,3	1,8*	1,1	1,5
400		2,4*	2,1*	2,5*	1,4	2,1
Média		2,1 a	1,7 b	2,2 a	1,2 c	

LVd = CV % = 23,59; DMS_{Dunnet} = 0,39;

RQo = CV % = 18,58; DMS_{Dunnet} = 0,63;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No solo de textura arenosa (RQo), os tratamentos SFT (2,1 g kg⁻¹ de P) e FN DuSolo 15 (2,2 g kg⁻¹ de P) apresentaram maiores médias de P na parte aérea da massa seca de plantas de milho (Tabela 10). Além disso, quando se aplicou 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FN DuSolo 12 o teor de fósforo na planta diferiu da testemunha (0,8 g kg⁻¹ de P).

Para os teores de fósforo acumulado em plantas de milho colhidas aos 50 dias após aplicação dos tratamentos, observou-se que houve influência das doses de P₂O₅ em função das fontes aplicadas (Tabela 11).

Tabela 11. Teores de fósforo acumulado em massa seca de plantas de milho, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- mg vaso ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	2,4					
200		21,0aB*	3,3 bA	3,8 bA	11,0 bB	9,8
400		43,4aA*	6,0 cA	5,3 cA	31,6 bA*	21,6
Média		32,2	4,7	4,6	21,3	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	3,2					
200		59,0*	10,8	29,1*	24,9	31,0
400		74,9*	38,8*	63,3*	42,4*	54,8
Média		67,0 a	24,8 c	46,2 b	33,6 c	

LVd = CV % = 47,67; DMS_{Dunnet} = 13,70;

RQo = CV % = 32,25; DMS_{Dunnet} = 25,11;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância

No experimento conduzido em solo de textura argilosa (LVd), ao comparar as fontes, maior fósforo acumulado em plantas de milho foi verificada no tratamento SFT (21,0 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 43,4 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), seguido do tratamento FPA DuSolo SSP2 (11,0 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 31,57 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Tabela 11). Em relação as doses, somente os tratamentos SFT e FPA DuSolo SSP2 diferiram, com a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentando melhor resposta.

No experimento instalado em solo de textura arenosa (RQo), ao comparar as fontes aplicadas, os teores médios de fósforo acumulado em plantas de milho foram maiores com o tratamento SFT (67,0 mg vaso⁻¹), seguido do FN 15, FPA e FN 12 (Tabela 11). Na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, todos os tratamentos apresentaram maiores extrações de fósforo em comparação com a testemunha, indicando efeito de concentração fósforo na planta e maior produção de massa seca.

Para os teores de cálcio na planta no solo de textura argilosa (LVd), os tratamentos apresentaram diferença significativa em relação a testemunha, com excessão do tratamento FN DuSolo 12 na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 12).

Tabela 12. Teores de cálcio em massa seca de plantas de milho, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	13,5					
200		9,2*	13,0	10,8*	10,0*	10,7
400		8,5*	11,2*	10,8*	8,8*	9,8
Média		10,7 a	10,2 a	10,2 a	10,1 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	7,4					
200		5,1*	6,4	5,2*	5,6*	5,6
400		5,4*	5,5*	5,0*	5,4*	5,3
Média		5,3 b	6,0 a	5,1 b	5,5 b	

LVd = CV % = 6,89; DMS_{Dunnet} = 1,48;

RQo = CV % = 9,81; DMS_{Dunnet} = 1,13;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No experimento em solo arenoso (RQo), o tratamento FN DuSolo 12 apresentou maior teor médio de cálcio na planta (6,0 g kg⁻¹ de Ca), mas o mesmo tratamento na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não diferiu da testemunha. A média das fontes FN 15 e FPA se mostram menos eficientes, porém havia Ca disponível no solo nestes dois tratamentos, o que pode deduzir a não absorção desse nutriente pelas plantas.

Para os teores de cálcio acumulado em plantas de milho colhidas aos 50 dias após aplicação dos tratamentos, observou-se que houve influência das doses de P_2O_5 em função das fontes aplicadas (Tabela 13). No experimento conduzido em solo de textura argilosa (LVd), ao comparar as fontes, o acúmulo de cálcio em plantas de milho foi maior com o tratamento SFT (275,0 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 444,0 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5), seguido do tratamento FPA DuSolo SSP2 (133,2 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 239,1 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5) (Tabela 13). Em relação as doses, somente os tratamentos SFT e FPA diferiram, com a dose de 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5 apresentando melhor resposta.

Tabela 13. Teores de cálcio acumulado em massa seca de plantas de milho, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P_2O_5 kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg vaso ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	48,3					
200		275,0 aB*	51,7 cA	54,89 cA	133,2 bB*	128,7
400		444,0 aA*	70,6 cA	76,2 cA	239,1 bA*	207,5
Média		359,5	61,2	65,5	186,2	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	28,6					
200		171,2*	52,3	84,0*	127,7*	108,8
400		173,8*	103,7*	124,6*	167,1*	142,3
Média		172,5 a	78,0 b	104,3 b	147,4 a	

LVd = CV % = 27,21; DMS_{Dunnett} = 85,19;

RQo = CV % = 22,98; DMS_{Dunnett} = 53,35;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No solo de textura arenosa (RQo), entre as fontes os teores médios de cálcio acumulado em plantas de milho foram maiores com o tratamento SFT (172,5 mg vaso⁻¹) e FPA (147,4 mg vaso⁻¹), seguido do FN 15 e 12 (Tabela 13). Na dose de 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , todos os tratamentos apresentaram maior acúmulo de cálcio em comparação com a testemunha.

Para os teores de magnésio na planta no solo de textura argilosa (LVd), os tratamentos não apresentaram diferença significativa (Tabela 14). Mas, no experimento em solo arenoso (RQo), o teor médio de magnésio na planta (2,6 g kg⁻¹ de Mg) foi maior com o tratamento FN DuSolo 12, mas na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não houve diferença com a testemunha.

Tabela 14. Teores de magnésio em massa seca de plantas de milho, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----g kg ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	4,4					
200		4,1	4,7	4,2	4,0	4,2
400		3,7	3,8	4,0	4,0	3,9
Média		3,9 a	4,2 a	4,1 a	4,0 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	2,9					
200		2,2*	3,1	2,1*	1,9*	2,3
400		2,1*	2,2*	1,9*	1,5*	1,9
Média		2,2 b	2,6 a	2,0 b	1,7 c	

LVd = CV % = 15,28; DMS_{Dunnett} = 1,27;

RQo = CV % = 13,97; DMS_{Dunnett} = 0,63;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Para os teores de magnésio acumulado em plantas de milho em solo de textura argilosa (LVd), houve melhor resposta com o tratamento SFT (162,4 mg vaso⁻¹), seguido do tratamento FPA (81,3 mg vaso⁻¹) (Tabela 15). No solo de textura arenosa (RQo), entre as fontes, o tratamento SFT (75,0 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 67,9 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), seguido do tratamento FPA (44,3 mg vaso⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44,3 mg vaso⁻¹ na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), apresentaram melhores resultados (Tabela 15). Em relação as doses, somente os tratamentos FN 12 e 15 diferiram, com melhor resposta na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 15. Teores de magnésio acumulado em massa seca de plantas de milho, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 50 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----mg vaso ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	16,0					
200		127,6*	18,6	21,6	53,2	55,3
400		197,2*	24,2	28,1	109,4*	89,7
Média		162,4 a	21,4 c	24,8 c	81,3 b	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	11,0					
200		75,0 aA*	25,3 cB	34,0 cB*	44,3 bA*	44,7
400		67,9 aA*	40,2 bA*	48,7 bA*	45,7 bA*	50,6
Média		71,5	32,8 c	41,4 b	45,0 b	

LVd = CV % = 46,38; DMS_{Dunnet} = 62,14;

RQo = CV % = 20,08; DMS_{Dunnet} = 17,70;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

5.1.5. Eficiência agrônômica relativa (EAR)

Após calcular a eficiência agrônômica relativa (EAR), observa-se que no primeiro momento as fontes com menor solubilidade (FN DuSolo 12 e 15) apresentaram menor eficiência, o que era esperado, liberação gradual do fósforo aumento de sua eficiência com o tempo nos cultivos sucessivos (Tabela 16). O FPA DuSolo SSP2, com maior solubilidade apresentou maior eficiência, o que indica sua maior eficiência em relação ao FN DuSolo.

Ao observar a eficiência agrônômica relativa em cada solo, verifica-se que no solo de textura arenosa, os resultados são mais expressivos, pois em solos de textura argilosa o efeito de aplicação do fósforo pode ser reduzido ou retardado, em função do processo de adsorção/fixação do fósforo no solo (Raij, 1991; Sousa e Lobato, 2003). No Latossolo Vermelho distrófico (LVd), aplicada não se observa diferença de EAR entre as doses de P₂O₅. Mas, no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) observa-se maior EAR na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 16).

No geral, o EAR, diminuiu na seguinte ordem: SFT > FPA DuSolo SSP2 > FN DuSolo 15 > FN DuSolo 12.

Os resultados do cultivo de milho indicam que o tratamento SFT apresentou melhores resultados como já se esperava, pois, a liberação do fósforo aplicado via fosfato totalmente acidulado no primeiro momento (curto prazo) é maior, e com isso, a disponibilização se diferencia de outros fosfatos, o que pode resultar em maior desenvolvimento vegetativo e produção de massa seca, além de maior extração de nutrientes na planta. Mesmo assim, vale ressaltar que o fosfato parcialmente acidulado (FPA DuSolo SSP2) após o cultivo de milho, apresentou resultados bem próximos ao fosfato acidulado (SFT), diferente dos fosfatos naturais que apresentam menor solubilidade (FN DuSolo 12 e 15) e com isso tendem a demonstrar resultados não tão expressivos a tão curto prazo.

Tabela 16. Eficiência agrônômica relativa (EAR) de diferentes fertilizantes fosfatados nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados no solo em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico antes do plantio de milho, híbrido DKB 390 VTPRO.

Fertilizantes	Eficiência Agrônômica Relativa (EAR)	
	200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅
----- % -----		
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)		
SFT	100,0	100,0
FN 12	1,4	5,5
FN 15	5,7	7,0
FPA	36,7	48,1
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)		
SFT	100,0	100,0
FN 12	14,5	52,8
FN 15	41,2	78,3
FPA	41,2	97,0

5.2. 2º cultivo

5.2.1. Análises de solo

Após um cultivo de milho e sorgo, aos 184 dias da aplicação de diferentes fontes de fósforo em um Latossolo Vermelho distrófico, verificou-se que os teores de fósforo com extrator Mehlich-1 (entre 3,2 e 50,1 mg dm⁻³ de P₂O₅) foram maiores na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com fosfato natural FN DuSolo 15 (50,1 mg dm⁻³ de P₂O₅) e 12 (33,3 mg dm⁻³ de

P₂O₅) (Tabela 17). No Neossolo Quartzarênico Órtico típico, os fosfatos DuSolo apresentaram maiores teores médios de fósforo no solo, além disso, na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ os teores também foram superiores em comparação com a testemunha.

Tabela 17. Teores de Fósforo extraídos por Mehlich, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg dm ⁻³ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	3,2					
200		5,8 aA	9,2 aB	19,2 aB	13,7 aA	12,0
400		9,8 cA	33,3 bA*	50,1 aA*	11,4 cA	26,1
Média		7,8	21,2	34,6	12,6	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	11,7					
200		30,2	76,2	95,3	104,7*	76,6
400		59,9	104,9*	209,8*	103,2*	119,5
Média		45,1 c	90,5 b	152,5 a	103,9 b	

LVd = CV % = 47,52; DMS_{Dunnet} = 16,65;

RQo = CV % = 46,80; DMS_{Dunnet} = 83,72;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Assim como foi observado no experimento com milho, esse comportamento dos teores de fósforo no solo pode ser justificado devido ao tipo de extrator utilizado para sua quantificação nas amostras experimentais, visto que o extrator Mehlich é um ácido que pode favorecer a dissolução do fósforo ainda não disponível aplicado via fosfato natural (insolúvel). Outro fato importante é que o tratamento SFT (solúvel) e fosfato parcialmente acidulado FPA DuSolo SSP2 apresentaram menores teores de fósforo no solo em ambos os experimentos, que se explica pela possível extração do elemento pelas plantas de milho e/ou fixação do elemento no solo, como se observa no solo Latossolo Vermelho distrófico (Tabela 17). Em relação aos fosfatos naturais (DuSolo 12 e 15), como citado anteriormente, os resultados demonstram que os elevados teores de fósforo podem indicar que a maior parte do fósforo aplicado ainda não está em sua forma disponível.

A similaridade entre as extrações de P, podem ajudar na melhor escolha em efetivar uma recomendação de fertilidade de solo, adequando para maior ganho de produtividade em diversas culturas. A tabela 18, nos corrobora valores de extração P – Resina para a cultura do sorgo.

Tabela 18. Teores de P extraídos por resina, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg dm ⁻³ -----						
LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)						
0	0,8					
200		1,7 Ab*	1,4 aB	1,7 aB*	1,3 aA	1,5
400		2,6 bA*	2,2 bA*	5,3 aA*	1,6 cA	2,9
Média		2,2	1,8	3,5	1,4	
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo)						
0	0,9					
200		2,3 aA	2,3 aB	3,0 aA	3,9 aB*	2,9
400		3,5 bA	4,7 bA*	3,1 bA	8,5 aA*	5,0
Média		2,9	3,5	3,1	6,2	

LVd = CV % = 20,1; DMS_{Dunnet} = 0,8;

RQo = CV % = 36,0; DMS_{Dunnet} = 2,6;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Observa-se que a fonte parcialmente acidulada (FPA DuSolo SSP2) no RQo, possui grande eficiência, característica já esperada pelo fato de ser um solo de menor teor de argila e assim ocorrer menor adsorção do P liberado pela fonte. Fonte esta, que possui liberação parcialmente lenta de P e em contato com o solo argiloso acontece o contrário, mostra valores não satisfatórios, comprovando a adsorção e/ou absorção pelas plantas.

A diferença é notória entre teores de P no solo arenoso e argiloso. A relação de extração de P planta-solo em solos RQo são maiores devido a sua textura arenosa, que possui uma capacidade de menor adsorção, com isso podemos observar a diversificação de valores. Ao contrário do solo arenoso, as fontes insolúveis (FN DuSolo 12 e 15) no solo argiloso também mostrarm uma possível adsorção pelo fato de haver teores menores de P na análise, visto que foram realizadas aplicações igualitárias das fontes nos dois solos. A liberação mais

lenta do P influencia diretamente o seu comportamento no solo e isso pode ser benéfico às plantas, devido ao seu fornecimento mais constante ao longo do tempo.

Nos dois solos avaliados, verificou-se para os teores de cálcio no solo não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 19), que variaram entre 3,2 a 4,9 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o LVd e 3,6 a 5,7 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o RQo.

Tabela 19. Teores de Cálcio, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P_2O_5 kg ha^{-1}	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	3,6					
200		4,0	3,2	3,9	4,4	3,9
400		4,9	4,6	4,6	4,8	4,7
Média		4,5 a	3,9 a	4,2 a	4,6 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	3,9					
200		3,9	5,2	3,6	5,6	4,6
400		5,7	5,2	4,2	5,6	5,2
Média		4,8 a	5,2 a	3,9 a	5,6 a	

LVd = CV % = 24,49; $\text{DMS}_{\text{Dunnett}} = 2,11$;

RQo = CV % = 24,57; $\text{DMS}_{\text{Dunnett}} = 2,38$;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Aos 184 dias após aplicação dos tratamentos, não se constatou diferenças significativas nos teores de Mg no solo, que variaram entre 0,5 a 1,5 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o LVd e 0,9 a 1,3 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o RQo (Tabela 20). Semelhante aos resultados obtidos por Stefanutti et al. (1995), que não observaram diferenças nos teores de Mg no solo que recebeu aplicação de diferentes fontes de P após 7 cultivos consecutivos de milho.

Tabela 20. Teores de Magnésio, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- cmol _c dm ⁻³ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,5					
200		1,3	0,9	1,2	1,5	1,2
400		1,5	1,3	1,4	1,5	1,4
Média		1,4 a	1,1 a	1,3 a	1,5 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,9					
200		0,9	1,3	1,2	1,2	1,2
400		1,3	1,3	1,2	1,3	1,3
Média		1,1 a	1,3 a	1,2 a	1,3 a	

LVd = CV % = 29,98; DMS_{Dunnet} = 0,81;

RQo = CV % = 31,92; DMS_{Dunnet} = 0,78;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

5.2.2. Massa seca de parte aérea

Para produção de massa seca de plantas de sorgo aos 184 dias após aplicação dos tratamentos, observou-se que não houve influência das doses de P₂O₅ em função das fontes aplicadas em nenhum dos solos (LVd e RQo) avaliados (Tabela 19). No experimento conduzido em solo de textura argilosa (LVd), a maior diferença de massa seca (sem diferença estatística) foi verificada com o tratamento SFT (2,04 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 4,58 g na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), seguido do tratamento FN DuSolo 15 (0,79 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0,83 g na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Tabela 19).

Tabela 21. Produção de massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----g-----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,6					
200		2,0	3,2	0,8	0,5	1,6
400		4,6	0,8	0,8	1,0	1,8
Média		1,6 a	1,6 a	2,2 a	1,4 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,8					
200		4,8	1,1	2,5	1,8	2,6
400		9,3*	1,9	4,2	2,7	4,5
Média		7,1 a	1,5 b	3,4 b	2,3 b	

LVd = CV % = 146,38; DMS_{Dunnet} = 4,71;

RQo = CV % = 69,15; DMS_{Dunnet} = 4,56;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No experimento instalado em solo de textura arenosa (RQo), ao comparar as fontes aplicadas, a produção média de massa seca foi maior com o tratamento SFT (7,08 g). Além disso, quando aplicado na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (9,3 g) houve diferença com o tratamento testemunha (Tabela 21). Resultados de Ono et al. (2007), não observaram diferenças na produção de massa seca em plantas de milho em sucessão com a soja em função de diferentes fontes de P.

5.2.3. Cálculo do equivalente em SFT

Para o cálculo da dose equivalente entre SFT (fonte padrão - controle em relação às fontes testadas) e os fosfatados DuSolo, realizou-se análise de regressão com a massa seca em função da aplicação de SFT, ou seja, a dose de SFT que produziria a mesma quantidade de massa seca com os fosfatados DuSolo (Figura 6).

Para o Latossolo Vermelho distrófico a produção de massa seca de plantas de sorgo foi de 4,6 g com aplicação da dose máxima avaliada (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT). Observa-se também, que todas as fontes utilizando da maior dose não mostraram resultados satisfatórios

comparados à testemunha, sendo necessário apenas doses abaixo de 100 Kg ha⁻¹ de SFT para produzir as mesmas quantidades de massa seca das fontes DuSolo com até 400 Kg ha⁻¹. Apenas na dose 200 Kg ha⁻¹ do produto FN DuSolo 12 possui uma superioridade, indicando que seria necessário uma aplicação de 290 Kg ha⁻¹ de SFT para produzir a mesma quantidade de massa seca.

Para o Neossolo Quartzarênico órtico típico a produção de massa seca de plantas de sorgo foi de 9,3 g com aplicação da dose máxima avaliada (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT). Do mesmo modo que ocorre no solo argiloso, as fontes DuSolo mesmo com dose máxima avaliada são superadas apenas com aplicações abaixo de 170 Kg ha⁻¹ de SFT.

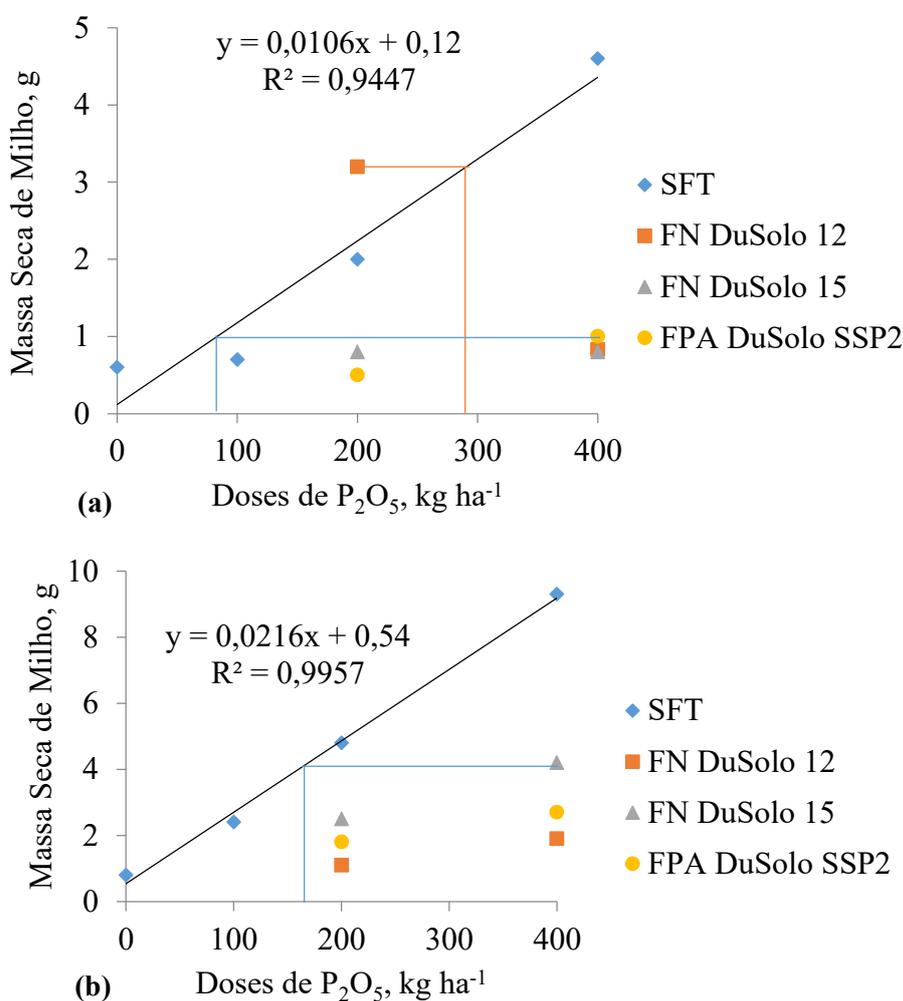


Figura 6. Doses de SFT na Produção de Massa Seca de plantas de sorgo cultivadas em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (a) e em amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico típico (b).

5.2.4. Nutrientes na parte aérea

Para os teores de fósforo em plantas de sorgo, verificou-se que o tratamento SFT apresentou maior teor médio de 0,98 g kg⁻¹ de P para o solo LVd e 1,3 g kg⁻¹ de P para o solo RQo (Tabela 22). Ainda no solo de textura arenosa (RQo), os fosfatos DuSolo 15 (1,2 g kg⁻¹ de P) e SSP2 (1,3 g kg⁻¹ de P) apresentaram maiores teores de P em relação a testemunha (0,49 g kg⁻¹ de P), quando aplicados na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 22. Teores de P em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----g kg ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,2					
200		0,8	0,6	0,3	0,3	
400		1,0*	0,2	0,4	0,6	
Média		0,9 a	0,4 b	0,4 b	0,4 b	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,5					
200		1,1*	0,6	0,7	0,8	0,8
400		1,4*	0,8	1,2*	1,3*	1,2
Média		1,3 a	0,7 c	1,0 b	1,0 b	

LVd = CV % = 69,18; DMS_{Dunnet} = 0,70;

RQo = CV % = 22,44; DMS_{Dunnet} = 0,42;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Para os teores de fósforo acumulado em plantas de sorgo colhidas aos 184 dias após aplicação dos tratamentos, observou-se que não houve influência das doses de P₂O₅ em função das fontes aplicadas (Tabela 23).

No experimento conduzido em solo de textura argilosa (LVd), somente quando aplicou-se 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT (5,6 mg vaso⁻¹) houve diferença significativa em relação a testemunha (0,11 mg vaso⁻¹). No experimento instalado em solo de textura arenosa (RQo), entre as fontes, os teores médios de fósforo acumulado em plantas de sorgo foi maior com o tratamento SFT (9,6 mg vaso⁻¹).

Tabela 23. Teores de P acumulado em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
----- mg vaso ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	0,1					
200		1,3	3,2	0,3	0,1	1,3
400		5,6*	0,2	0,5	0,7	1,7
Média		3,4 a	1,7 a	0,4 a	0,4 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	0,4					
200		5,5	0,8	1,9	1,5	2,4
400		13,7*	1,6	5,1	3,5	6,0
Média		9,6 a	1,2 b	3,5 b	2,5 b	

LVd = CV % = 189,69; DMS_{Dunnet} = 5,15;

RQo = CV % = 91,72; DMS_{Dunnet} = 7,00;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os teores de cálcio em plantas de sorgo cultivadas em solo de textura argilosa (LVd) e arenosa (RQo), não apresentaram diferença significativa, onde variaram de 4,7 a 8,1 g kg⁻¹ de Ca para o LVd e 2,9 a 4,5 g kg⁻¹ de Ca para o RQo (Tabela 24).

Tabela 24. Teores de Ca em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	5,7					
200		6,5	8,1	6,2	6,5	6,8
400		4,7	7,4	5,8	5,4	5,8
Média		5,6 a	7,7 a	6,0 a	6,0 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	4,3					
200		3,8	2,8	3,3	2,8	3,1
400		3,4	2,9	4,5	3,0	3,5
Média		3,6 a	2,9 a	3,9 a	2,9 a	

LVd = CV % = 35,39; DMS_{Dunnet} = 4,50;

RQo = CV % = 26,73; DMS_{Dunnet} = 1,87;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Não foi observada diferença significativa para os teores de cálcio acumulado em plantas de sorgo colhidas aos 184 dias após aplicação dos tratamentos em solo de textura argilosa (LVd), onde os teores variaram de 3,2 a 19,0 mg vaso⁻¹ de Ca (Tabela 25). No experimento instalado em solo de textura arenosa (RQo), o teor médio de cálcio extraído em plantas de sorgo foi maior com o tratamento SFT (25,9 mg vaso⁻¹), e diferiu da testemunha quando aplicado na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 25. Teores de Ca acumulado em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----mg vaso ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	3,2					
200		9,6	17,5	5,3	3,1	8,9
400		19,0	6,1	4,1	4,7	8,5
Média		14,3 a	11,8 a	4,7 a	3,9 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	3,3					
200		19,2	3,4	8,2	5,0	9,0
400		32,7*	5,7	18,5	8,1	16,3
Média		25,9 a	4,5 b	13,4 b	6,6 b	

LVd = CV % = 121,36; DMS_{Dunnet} = 19,88;

RQo = CV % = 74,15; DMS_{Dunnet} = 17,41;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Os teores de magnésio na planta no solo de textura argilosa (LVd) e arenosa (RQo) não apresentaram diferença significativa em ambos os experimentos avaliados (Tabela 26).

Tabela 26. Teores de Mg em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----					
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	4,3					
200		3,8	5,0	4,1	4,6	4,4
400		3,1	4,2	3,5	3,1	3,5
Média		3,5 a	4,6 a	3,8 a	3,8 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	3,0					
200		2,4	2,2	2,1	2,1	2,2
400		3,2	1,5	2,7	2,6	2,5
Média		2,8 a	1,8 a	2,4 a	2,3 a	

LVd = CV % = 39,79; DMS_{Dunnet} = 3,22;

RQo = CV % = 38,76; DMS_{Dunnet} = 1,91;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Do mesmo modo, os teores de magnésio acumulado em plantas de sorgo em solo de textura argilosa (LVd) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 27).

Tabela 27. Teores de Mg acumulado em massa seca de plantas de sorgo, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, aos 184 dias após aplicação (daa) de diferentes fontes fosfatadas.

Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Test.	SFT	FN DuSolo 12	FN DuSolo 15	FPA DuSolo SSP2	Média
-----mg vaso ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)						
0	2,2					
200		5,9	9,9	2,7	2,1	5,2
400		14,7	3,4	2,5	2,6	5,8
Média		10,3 a	6,6 a	2,6 a	3,4 a	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)						
0	2,3					
200		14,9	2,5	5,2	3,7	6,6
400		30,7*	3,1	10,9	6,8	12,9
Média		22,8 a	2,8 b	8,1 b	5,3 b	

LVd = CV % = 146,59; DMS_{Dunnett} = 15,20;

RQo = CV % = 100,47; DMS_{Dunnett} = 18,18;

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; * significativo pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

No experimento conduzido em solo de textura arenosa (RQo), maior magnésio acumulado em plantas de sorgo foi verificada no tratamento SFT (22,8 mg vaso⁻¹) e diferiu da testemunha quando aplicado na dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 27).

5.2.5. Eficiência agrônômica relativa (EAR)

Utilizando a produção de massa seca de sorgo 184 dias após aplicação de fertilizantes fosfatados, calculou-se o índice de Eficiência Agrônômica Relativa (Tabela 28). No solo de textura argilosa (LVd), somente o tratamento FN DuSolo 12 na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou maior EAR (180%). No solo de textura arenosa o FN DuSolo 15 apresentou maior EAR em relação aos demais fosfatos DuSolo. Isso pode ser explicado porque, os fosfatos de

menor solubilidade de boa qualidade são as fontes ideais para o manejo ao longo do tempo, pois acabam sendo uma fonte de liberação controlada de P (RAJAN et al., 1996).

Tabela 28. Eficiência agronômica relativa (EAR) de diferentes fertilizantes fosfatados nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados no solo em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico antes do plantio de sorgo, cultivar AGN80G80.

Fertilizantes	Eficiência Agronômica Relativa (EAR)	
	200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	400 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅
----- % -----		
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)		
SFT	100,0	100,0
FN 12	180,0	6,0
FN 15	13,8	6,0
FPA	0	9,5
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo)		
SFT	100,0	100,0
FN 12	8,8	13,7
FN 15	42,9	40,4
FPA	25,8	22,7

Ao observar o índice de eficiência agronômica relativa em cada solo, verifica-se que no solo de textura arenosa, os resultados são mais expressivos, pois em solos de textura argilosa o efeito de aplicação do fósforo em relação a sua disponibilização pode ser reduzido ou retardado, em função do processo de adsorção/fixação do fósforo no solo (Raij, 1991; Sousa e Lobato, 2003).

Em ambos os experimentos não se observa diferença de EAR entre as doses de P₂O₅. No Latossolo Vermelho distrófico, o EAR diminuiu na seguinte ordem: SFT > FN DuSolo 12 > FN DuSolo 15 > FPA DuSolo SSP2 e no Neossolo Quartzarênico Órtico típico, o EAR diminuiu na seguinte ordem: SFT > FN DuSolo 15 > FPA DuSolo SSP2 > FN DuSolo 12.

Os resultados do cultivo de sorgo assim como no experimento com milho, indicam que o tratamento SFT apresentou melhores resultados, mesmo após 184 dias, principalmente em solo de textura argilosa. Contudo, os fosfatos FPA DuSolo SSP2 e FN DuSolo 15 apresentaram resultados mais satisfatórios quando avaliados em solo de textura arenosa.

Os resultados indicam que possivelmente os fosfatos DuSolo não disponibilizaram grande parte do fósforo aplicado. Isto pode ser justificado pelos elevados teores de fósforo (na

ordem: FN DuSolo 15 > FN DuSolo 12 > FPA DuSolo SSP2) apresentados na análise de solo aos 184 dias após aplicação dos tratamentos (Tabela 17), já que o extrator Mehlich é um ácido que pode favorecer a dissolução do fósforo ainda não disponível aplicado via fosfatos com solubilidade reduzida. Considerando os todos fatores citados, os fosfatos com melhor solubilidade podem apresentar maior efeito residual, em maior tempo de avaliação, o que pode ser consideravel em culturas anuais.

6. CONCLUSÕES

As fontes FN 12 e FN 15 aumentaram o teor de P no solo, tanto no primeiro como no segundo cultivo (50 DAA e 184 DAA) em relação à testemunha e a fonte padrão super fosfato triplo. O mesmo ocorre com a fonte FPA aos 184 DAA porém este aumento não refletiu em ganho de rendimento das culturas, isso devido ao extratores do P no solo.

Para a produção de massa seca de plantas, há incremento apenas aos 50 DDA utilizando a fonte FPA DuSolo SSP2.

Após 50 dias da aplicação dos fosfatos, na maior dose avaliada, as fontes mostraram EAR de 52 a 97% em solo arenoso.

Parcial efeito residual (40% em relação ao SFT) com 184 DAA, ocorre utilizando a fonte FN DuSolo 15 no solo de textura arenoso.

Quanto a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) no geral, nenhuma das fontes mostrou-se mais eficiente comparadas ao padrão super fosfato triplo.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA FILHO, M.A.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre fósforo "extraível", frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 147-55, 1987.
- BRAGA, J.M.; MASCARENHAS, H. A. A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R.& RAIJ, B. van. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção da soja. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 4:36-39, 1980.
- CAIONE, G. **Avaliação de fontes de fósforo no desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica de cana-de-açúcar**. 2011, 74f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2011.
- DEFILIPPE, G. **Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., São Paulo, 1980. Anais. São Paulo, IBRAFOS, s.d. p.5-9.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.
- ESTÉVES, A. A. **Fisiologia de la caña de azucar**. In: OSORIO C. E. B. (Ed.). El cultivo de la caña de azucar. Cali: Tecniacana, 1986. p. 27-41.
- GODOY, L. J. G.; PINOTTI, É. B.; FURUYA, F. E. S.; ALBANAZ, A. A.; FELISBERTO, G.; CARVALHO, P. A.; FEHR, R. M. Disponibilidade de fósforo (Resina e Mehlich-1) em dois solos utilizando o fosfato magnesiano a base de fosforita. In: FERTBIO 2012: À responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola. **Anais...** Maceió, 2012.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo, Nobel, 1986. p.129-166.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:97-102, 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, São Paulo, 1987. Anais. São Paulo, IBRAFOS, 1987. p.24-49.

- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Crawley, v. 237, p. 173-195, 2001.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, POTAFOS, 2004. p. 665-682.
- KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NATURAIS E SUA INFLUÊNCIA NO FÓSFORO DISPONÍVEL EM DOIS SOLOS DE CERRADO**. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 31, n. 2, p. 111-119, 26 nov. 2007.
- LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Piracicaba: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.
- LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In YAMADA, T; ABDALLA, S. R. S (ed.). **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004**, São Pedro-SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato 2004. p. 11-34.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.
- NICCHIO, B. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo**. 2015. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- NOGUEIRA, A. V. Eficiência agronômica, como fertilizante, de um lodo de esgoto e de dois resíduos provenientes da indústria siderúrgica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 85p (**Dissertação de mestrado**).
- NOVAIS, R.F. de ; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. P. 471-550.
- ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 727-734, 2009.
- PERES, C. E. B. **Eficiência agronômica de fontes de fósforo e micronutrientes sobre a produtividade e qualidade tecnológica em soqueira de cana-de-açúcar**. 2014. 116f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.

- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. e (Eds.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. p. 605-651.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.
- RAIJ, B. van. Métodos de Diagnose de Fósforo no Solo em Uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. e (Eds.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. p. 563-587.
- RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Adv. Agron.**, New York, v. 57, p. 77-159, 1996.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.453-466, 2006.
- SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. chap. 17, p. 471-514.
- STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo – essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 1-11.
- STEFANUTTT, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo derivado de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Sci. Agri.**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 233-238, 1995.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 33).

- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n.102, p.1-16, 2003. (Encarte técnico).
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, A. T. **Adubação fosfatada.** In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.
- VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 690-694.