



**KAIO GONÇALVES DE LIMA DIAS**

**FONTES E DOSES DE FÓSFORO PARA O  
CAFEIEIRO: PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE  
NUTRIENTES NO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL  
DAS PLANTAS**

**LAVRAS  
2012**

**KAIO GONÇALVES DE LIMA DIAS**

**FONTES E DOSES DE FÓSFORO PARA O CAFEIRO:  
PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE NUTRIENTES NO SOLO E  
NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

**LAVRAS  
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Dias, Kaio Gonçalves de Lima.

Fontes e doses de fósforo para o cafeeiro : produtividade,  
dinâmica de nutrientes no solo e nutrição mineral das plantas / Kaio  
Gonçalves de Lima Dias. – Lavras : UFLA, 2012.  
90 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.  
Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.  
Bibliografia.

1. Café. 2. Adubação fosfatada. 3. Fertilidade do solo. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.85

**KAIO GONÇALVES DE LIMA DIAS**

**FONTES E DOSES DE FÓSFORO PARA O CAFEIEIRO:  
PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE NUTRIENTES NO SOLO E  
NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012.

Dr. Antônio Fernando Guerra

EMBRAPA Cerrados

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

EPAMIG

Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

Orientador

**LAVRAS  
2012**

*Aos meus avós Alarício e Sidinéia, que sempre ensinaram com exemplos o  
valor da simplicidade e humildade.*

*Aos meus pais, Silvio e Ligia por serem as pessoas que mais auxiliaram  
na formação de meu caráter e pela confiança depositada.*

*Aos meus irmãos, Breno Gonçalves de Lima Dias e Felipe Gonçalves de  
Lima Dias pelo auxílio e amizade.*

*À minha namorada, Franciani pelo apoio e compreensão.*

*Ao meu sobrinho, Luiz Felipe pela alegria e inspiração.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre iluminar meu caminho e colocar nele pessoas especiais sem as quais não conseguiria mais esta conquista.

Ao Consórcio Pesquisa Café, pelo apoio.

Ao professor Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pela oportunidade, confiança depositada, e orientação.

Ao pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, responsável direto por esta conquista, pela orientação na qual não mediu esforços e principalmente pela amizade e ensinamentos de vida.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos ensinamentos e contribuição para minha formação.

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados, Dr. Antônio Fernando Guerra, pelo apoio durante o trabalho.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais pela concessão da área experimental e pelos recursos e apoio concedidos.

A toda equipe da Fazenda Experimental de Três Pontas, principalmente ao gerente Ronaldo, e aos técnicos Hélio e Vanessa, pelo apoio na condução do ensaio.

Ao gerente da Fazenda Experimental de Machado, Gilmar José Cereda, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos meus amigos, Andre, Davi, Fabio, Cristiano e Pedro Augusto pela amizade verdadeira.

A toda equipe da EPAMIG – Lavras, pelo auxílio e amizade.

Ao aluno de iniciação científica e amigo Cesar, pela ajuda nas análises laboratoriais.

A todos os servidores e técnicos do DCS pela boa convivência e experiências.

Ao amigo e colega de trabalho, Thiago pelas trocas de experiências e aprendizado.

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio, ajuda e troca de experiências por muitos momentos.

Muito Obrigado!

## RESUMO GERAL

O estudo do fósforo (P) consiste num dos maiores desafios relacionados à nutrição de plantas, principalmente em solos que apresentam avançado grau de intemperismo, como a maioria dos solos brasileiros. Resultados recentes de pesquisa mostraram respostas do cafeeiro à adubação fosfatada em fase de produção dessa cultura, porém há necessidade de maiores investigações a respeito dos efeitos da aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados na dinâmica do solo. Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: (a) verificar os efeitos da adubação de manutenção com doses crescentes de  $P_2O_5$  através de duas fontes, para cafeeiros em produção implantados na Região Sul de MG, (b) verificar alterações em propriedades químicas e na dinâmica de nutrientes no solo em função da adubação fosfatada de manutenção com doses crescentes de  $P_2O_5$  fornecido através de duas fontes de fertilizantes. O experimento foi instalado em 2008 num Argissolo Vermelho distrófico no município de Três Pontas – MG, na Fazenda Experimental da EPAMIG, com a cultivar Catiguá MG-2, plantada no espaçamento de 3,60 x 0,60 m. As adubações foram realizadas levando em consideração o resultado da análise de solo, exceto para o nutriente fósforo. As doses testadas foram 0,75, 150, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ , utilizando-se como fontes o superfosfato simples e o termofosfato magnésiano, aplicadas anualmente no início do período chuvoso (outubro). O delineamento experimental utilizado foi um fatorial 6x2 em blocos casualizados com cinco repetições. Em 2009, 2010 e 2011 foram retiradas amostras de solo na projeção da copa dos cafeeiros nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, após a colheita da safra de cada ano. Nesse mesmo período também foram retiradas amostras de folhas, na fase anterior do enchimento dos grãos. Procedeu-se análise físico-química do solo e análise de matéria seca das folhas. Os teores de P disponível no solo aumentaram devido à aplicação das duas fontes, assim como os teores foliares de P, que se estabilizaram em torno de 1,8 – 1,9 g kg<sup>-1</sup>, de modo geral, com a aplicação de aproximadamente 300 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ . Os teores de cálcio (Ca) no solo e nas folhas aumentaram em função da aplicação do superfosfato simples; os de magnésio (Mg) diminuíram e os teores de enxofre (S) aumentaram apenas no solo. Já para o termofosfato magnésiano, os teores de Mg aumentaram no solo e nas folhas em função de sua aplicação; os teores de Ca aumentaram apenas no solo. O termofosfato promoveu elevação do pH e da saturação por bases e redução nos teores foliares dos micronutrientes catiônicos. O cafeeiro mostrou-se responsivo à adubação fosfatada na fase de produção, obtendo-se numa média de três safras, ganhos de 45,3 e 40,3%, para o superfosfato simples e termofosfato magnésiano, respectivamente, com a aplicação da maior dose estudada de 600 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ .

Palavras-chave: Fertilidade do solo. Nutrição do cafeeiro. Adubação fosfatada.



## GENERAL ABSTRACT

The study of phosphorus (P) is one of the plant nutrition biggest challenges, especially in weathering soils, like most Brazilian soils. Recent research results have shown responses of the coffee tree to phosphate fertilizer in production phase, although it needs further investigation about the effects of the application of high phosphate fertilizer doses in soil dynamics. This work was performed with the following objectives: (a) verify the maintenance fertilization effects with increasing  $P_2O_5$  doses from two sources for coffee production implanted in South of Minas Gerais; (b) verify changes in chemical properties and soil nutrient dynamics as a function of phosphorus fertilization maintenance with increasing  $P_2O_5$  doses, from two fertilizer sources. The experiment was installed in 2008 on a typic dystrophic Red Argisol (Ultisol) in the municipality of Três Pontas - MG, at EPAMIG Experimental Farm, with cultivar Catigua MG-2, planted at a spacing of 3.60 x 0.60 m. Fertilization was carried out considering the soil analysis results, except for phosphorus nutrient. The doses applied were 0.75, 150, 300, 450 and 600 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , using simple superphosphate as sources and the magnesium thermophosphate, implemented annually at the beginning of the rainy season (october). The experimental design was a 6x2 factorial in randomized blocks with five replications. In 2009, 2010 and 2011 soil samples were taken at coffee canopy projection at 0-0.1 and 0-0.2m depth, after each year harvest. At the same period were also taken sampled leaves, before the stage of grain filling. Soil physico-chemical analysis was preceded of leaves dry matter. The available soil P contents increased due two sources application, as well as leaf P contents, which stabilized around 1,8 – 1,9 g kg<sup>-1</sup>, in general, with the application of approximately 300 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ . The calcium (Ca) contents in soil and leaves increased in function the simple superphosphate application, the magnesium (Mg) decreased and the sulfur (S) increased only in the soil. As for magnesium thermophosphate, the Mg contents increased in soil and leaves according to their application; the Ca contents increased only in the soil. The thermophosphate increase pH elevation and of basis saturation and reduction in foliar contents of cationic micronutrients. The coffee plants shown to be responsive to phosphate fertilizer in production phase, from an average of three harvests, obtaining gains 45.3 and 40.3% for simple superphosphate and magnesium thermophosphate, respectively, with the application 600 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$  doses.

Keywords: Soil Fertility. Coffee nutrition. Phosphorus fertilization.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 2

- Figura 1 Teores de fósforo disponível pelo extrator de Mehlich- 1 no solo, nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, num PVd de Três Pontas - MG, em função da aplicação superficial anual de duas fontes e seis doses de fósforo, em amostras coletadas nos anos de 2009, 2010 e 2011. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1% ..... 45
- Figura 2 Teores de fósforo disponível pela resina de troca iônica no solo, na profundidade de 0-0,1 e 0-0,2 m, num PVd de Três Pontas - MG, em função da aplicação anual de diferentes fontes e doses de fósforo, em dois anos. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1% ..... 46
- Figura 3 Teores de fósforo remanescente no solo, na profundidade de 0-0,1 e 0-0,2 m, num PVd de Três Pontas - MG, em função da aplicação anual de diferentes fontes e doses de fósforo, em dois anos. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1% ..... 48
- Figura 4 Teores foliares de P em cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em amostras coletadas em três anos. \* Significativo, pelo teste de t, a 5% ..... 51
- Figura 5 Produtividade de cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em 2009 e no biênio 2009-2010 (SS - superfosfato simples; TF - termofosfato magnésiano). Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1% ..... 55

Figura 6	Produtividade de cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em 2011 e no triênio 2009-2010-2011 (SS - superfosfato simples; TF - termofosfato magnésiano). Significativo, pelo teste de t, a * 5% e **1% .....	56
----------	---	----

### CAPITULO 3

Figura 1	Teores Ca, Mg e S-SO <sub>4</sub> no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como superfosfato simples, em diferentes anos e duas profundidades (A, B e C = 0-0,2 m e D e E = 0-0,1 m). * Significativo, pelo teste de t, a 5% .....	74
Figura 2	Teores foliares de Ca e Mg em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como superfosfato simples, em 2010. * Significativo, pelo teste de t, a 5% .....	76
Figura 3	Teores de Mg no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2010 e 2011 e duas profundidades (A e C = 0-0,1 m; B e D = 0-0,2 m). * Significativo, pelo teste de t, a 5% .....	78
Figura 4	Teores de Ca no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2011 e duas profundidades (A e B = 0-0,1 m e 0-0,2 m, respectivamente). *Significativo, pelo teste de t, a 5% .....	79
Figura 5	Valores de pH em água em função de doses anuais de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2010 e 2011, em duas profundidades (A e C = 0-0,1 m; B e D= 0-0,2 m). * Significativo, pelo teste de t, a 5% .....	80

- Figura 6 Valores de Saturação por bases (V%) em função da aplicação de doses anuais de fósforo como termofosfato magnesiano, em 2010 e 2011, em duas profundidades (A e B = 0-0,1 m; C = 0-0,2 m). \* Significativo, pelo teste de t, a 5% ..... 81
- Figura 7 Teores foliares de Mg em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnesiano, nos anos de 2010 e 2011. Significativo, pelo teste de t, \* a 5% e \*\* a 1% ..... 83
- Figura 8 Teores foliares de micronutrientes catiônicos função a aplicação de doses anuais de fósforo como termofosfato magnesiano em 2010. \*Significativo, pelo teste de t, a 5% ..... 84

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPITULO 2**

Tabela 1	Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho distrófico, na profundidade de 0-0,2 m, da Fazenda Experimental da EPAMIG de Três Pontas – MG, antes da instalação do experimento .....	41
----------	---	----

### **CAPITULO 3**

Tabela 1	Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho distrófico, na profundidade de 0-0,2 m, da Fazenda Experimental da EPAMIG de Três Pontas – MG, antes da instalação do experimento .....	70
----------	---	----

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 Introdução geral</b> .....	16
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Fósforo no solo e na planta</b> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Importância do fósforo e suas fontes para cafeeiro</b> .....	22
<b>2.3</b>	<b>Fontes de P e alterações nas propriedades químicas e desequilíbrios nutricionais</b> .....	25
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28
	<b>CAPÍTULO 2 Fontes e doses de fósforo na dinâmica e disponibilidade do nutriente em um argissolo vermelho distrófico cultivado com cafeeiros</b> .....	35
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	38
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	40
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	43
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
	<b>CAPÍTULO 3 Fontes e doses de fósforo no cafeeiro: atributos do solo e nutrição mineral das plantas</b> .....	64
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	67
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	69
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	72
<b>3.1</b>	<b>Efeito da aplicação de doses de superfosfato simples no solo</b> .....	72
<b>3.2</b>	<b>Efeito da aplicação de doses de superfosfato simples na planta</b> .....	75
<b>3.3</b>	<b>Efeito da aplicação de doses de termofosfato magnésiano no solo</b> .....	76
<b>3.4</b>	<b>Efeito da aplicação de doses de termofosfato magnésiano na planta</b> .....	81

<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>

**CAPÍTULO 1 Introdução geral**



## 1 INTRODUÇÃO

Para manter-se na atividade cafeeira de forma competitiva o produtor rural tem que aumentar sua produtividade, reduzir seus custos e, um dos aspectos mais importantes para obtenção de elevadas produções consiste na nutrição adequada e equilibrada das plantas.

Com a crescente demanda de nutrientes em função da adoção de cultivares cada vez mais produtivas, somada à expansão das lavouras para solos de baixa fertilidade e, do avanço no entendimento das necessidades dessa cultura, uma melhor compreensão da dinâmica dos nutrientes na cultura do cafeeiro se torna necessária.

O conhecimento sobre a dinâmica do P consiste num dos maiores desafios relacionados à nutrição de plantas, principalmente em solos que apresentam avançado grau de intemperismo, realidade da maioria dos solos brasileiros. Em função da presença de óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) em elevadas proporções na fração argila, esses solos representam um grande dreno de P, fazendo com que as quantidades aplicadas desse nutriente sejam várias vezes maiores do que aquelas requeridas pelas culturas (FURTINI NETO et al., 2001). De acordo com Rajj (1991), no Brasil esse nutriente é utilizado nas adubações em quantidades maiores que as de nitrogênio (N) e potássio (K), além de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006).

Por muitos anos o cafeeiro foi considerado como uma planta que não respondia a adubações fosfatadas de manutenção (BATAGLIA, 2004), o que provavelmente surgiu pelo fato deste ser o macronutriente exigido e exportado em menores quantidades por essa cultura (GUIMARÃES et al., 2011). Entretanto, diversos resultados de pesquisas mostraram respostas dessa cultura à adubação fosfatada (BARROS et al., 2001; GALLO et al., 1999; PREZZOTTI;

ROCHA, 2004). Guerra et al. (2007) e Reis et al. (2011), obtiveram respostas lineares à aplicação de até 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em cafeeiros irrigados em produção, em um Latossolo originalmente sob vegetação de cerrado em Planaltina – DF.

A produtividade média do cafeeiro no estado de Minas Gerais é de 21,6 sacas ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011), é considerada baixa, logo supõe-se que o P pode estar limitando a produção em grande parte das lavouras da Região. Em trabalho realizado por Corrêa et al. (2001), onde foram analisadas 75 amostras de solo e folhas de lavouras cafeeiras, representativas da Região Sul de MG, foi constatado que 37,3% e 34,7 % das lavouras avaliadas apresentaram baixos e médios teores de P no solo. Também observaram que 49,3% dessas lavouras apresentaram teores foliares de P inferiores a 1,6 g kg<sup>-1</sup>, os quais são considerados baixos (BERGMANN, 1992; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Poucos são os resultados de pesquisa que mostram os efeitos de diferentes fontes de P na adubação de cafeeiros em produção. Melo et al. (2005b), testando os efeitos da adubação de plantio com diversas fontes de P em cafeeiros, observaram que as maiores produtividades, aos 30 meses após o plantio, foram obtidas quando se utilizou o superfosfato triplo e o termofosfato magnésiano; e aos 41 meses, as maiores produtividades foram observadas quando se utilizou os fosfatos de Araxá, de Arad e o termofosfato magnésiano.

Neste contexto o presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: (a) verificar os efeitos da adubação de manutenção com doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> através de duas fontes, para cafeeiros em produção implantados na Região Sul de MG; (b) verificar alterações em propriedades químicas e na dinâmica de nutrientes no solo em função da adubação fosfatada de manutenção com doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fornecido através de duas fontes de fertilizantes.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Fósforo no solo e na planta**

O fósforo (P) talvez seja o nutriente mais investigado na literatura, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produção das culturas, principalmente em solos que apresentam avançado grau de intemperismo, e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006).

O P representa um dos chamados elementos ricos em energia, sendo o exemplo mais comum o ATP (adenosina trifosfato), que é utilizado em todas as reações endergônicas, ou seja, que necessitam de energia (SANTINATO et al., 1998). Desempenha também papel importante na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética. Seu suprimento adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011). É ainda componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos e substratos metabólicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007), Sendo, portanto imprescindível ao crescimento e reprodução das plantas (MARSCHNER, 1995).

Esse nutriente deve receber atenção especial em solos de regiões tropicais, que devido ao avançado grau de intemperismo, apresentam elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al na fração argila, se tornando um importante dreno de P. Isso ocorre principalmente devido ao aumento na concentração de cargas positivas desses solos (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Segundo Moreira e Siqueira (2006), mais de 75% do P aplicado neste tipo de solo são retidos em suas partículas. Novais, Smyth e Nunes (2007), descrevem que mais de 90% do P aplicado ao solo pode ser adsorvido já na

primeira hora de contato com o mesmo, formando primeiramente o P-lábil e, posteriormente, com o passar do tempo, o P não lábil. É necessária a aplicação de altas doses de P para atender à demanda adequada do nutriente às plantas (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004). Estima-se que a quantidade de P acumulada nos solos agrícolas, se pudesse ser disponibilizada, seria suficiente para sustentar a produção agrícola mundial por cerca de um século (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), visto a enorme afinidade dos componentes do solo com esse nutriente.

A correção prévia dos solos ácidos é de suma importância para o maior aproveitamento do P aplicado às plantas, pois promove a neutralização do Al e de grande parte do Fe, reduzindo sua precipitação. Promove a redução das cargas positivas livres para adsorção de fosfato e reduz ainda a adsorção por substituição direta, pela maior atividade de hidroxilas e carboxilas no meio (FURTINI NETO et al., 2001). A elevação do pH aumenta a atividade de microrganismos responsáveis pela decomposição de compostos orgânicos (ANGHINONI, 2004; SATO; COMERFORD, 2005) e pela produção de substâncias que auxiliam na solubilização de fosfatos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Porém, a elevação do pH acima da neutralidade tende a reduzir a disponibilidade de P, em função da formação de compostos Ca-P (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

A matéria orgânica do solo consiste em outro fator que afeta a disponibilidade de P para as plantas, sendo seu efeito devido principalmente, à maior dificuldade de contato dos íons ortofosfato com os sítios de fixação. Há um recobrimento desses sítios por radicais orgânicos, formação de complexos organofosforados, os quais ficam mais disponíveis para ação enzimática e dos ácidos orgânicos exsudados pelas plantas e substituição de íons fosfatos por íons orgânicos nos sítios de adsorção (SÁ, 2004). De acordo com Novais, Smyth e Nunes (2007), o acúmulo de formas orgânicas de P, principalmente em solos

mais ácidos e argilosos que apresentam elevada capacidade de fixação, é de grande importância para um uso mais sustentável dos adubos fosfatados.

Respostas interessantes foram observadas por vários autores em sistema de plantio direto já estabilizado, onde mesmo em condições em que constatarem baixos teores de P pelos extratores Mehlich-I e resina, não observaram respostas ao aumento da dose de fósforo nessa condição (ARAÚJO, 2001; RESENDE, 2004; SANTOS, 2005). De acordo com Lopes et al. (2004), isso se deve a ação conjunta de alguns fatores, como: aplicação localizada em sulco, maior participação do fósforo orgânico e menor fixação de fósforo.

A absorção do P se dá contra um gradiente de concentração, portanto de forma ativa, visto que a concentração de fosfato nas células radiculares e na seiva do xilema é de 100 a 1000 vezes maior do que a da solução do solo (FAQUIN, 2005). As formas de P mais comumente absorvidas pelas plantas são, em maior proporção o ânion monovalente – ortofosfato biácido -  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , e em menor proporção o anion bivalente ortofosfato monoácido –  $\text{HPO}_4^{2-}$ , sendo o pH o principal fator determinante na proporção em que as duas formas estão disponíveis para absorção (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

O suprimento adequado de P é importante já nas fases iniciais de crescimento das plantas, pois as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições do desenvolvimento, dos quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P em níveis adequados (GRANT et al., 2001), prejudicando assim sua produtividade.

O P juntamente com o N representam os nutrientes que mais comumente limitam a produção das culturas em solos de regiões tropicais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), sendo, portanto, de suma importância o avanço no estudo da dinâmica e disponibilidade deste nutriente.

## 2.2 Importância do fósforo e suas fontes para cafeeiro

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo que a produção nacional para o ano de 2011 foi estimada em 43,15 milhões de sacas; Minas Gerais destaca-se como maior produtor, sendo grande parte provinda da Região Sul de MG (CONAB, 2011). A cafeicultura, além do aspecto econômico para o produtor e balança de pagamentos, apresenta, também, grande importância social, pois, demanda grande quantidade de mão de obra em toda sua cadeia de produção, principalmente em regiões de relevo mais acidentado.

Os níveis críticos de P no solo variam em função da espécie cultivada (NOVAIS; SMYTH, 1999). As plantas perenes de modo geral, apresentam mecanismo de acúmulo de formas de reserva de P mais evoluído, em razão dos maiores e mais prolongados déficits hídricos a que estão sujeitas (NOVAIS; MELLO, 2007), possível razão pela qual as respostas das culturas perenes em produção à adubação fosfatada são baixas.

O P é um nutriente pouco exigido pelo cafeeiro, sendo também pouco exportado em relação aos outros macronutrientes (GUIMARÃES et al., 2011). Porém, apenas 5% a 20% do P solúvel aplicado é aproveitado pela cultura, sendo o restante aproveitado ou não, dependendo da reação do P no solo (ALCARDE; PROCHNOW, 2003), motivo pelo qual as quantidades aplicadas devem ser bem superiores àquelas exigidas pela cultura (FURTINI NETO et al., 2001)

A eficiência agronômica das fontes também interfere no fornecimento de P ao cafeeiro, dependendo de sua composição química, granulometria e solubilidade, de modo que quanto maior a solubilidade da fonte, mais rápida deve ser a influência da difusão do P no processo de absorção pelas plantas, como também a adsorção pelas partículas do solo (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004; SOUSA et al., 2004).

Dentre as fontes de P, destacam-se os fosfatos solúveis, termofosfatos, multifosfatos e fosfatos naturais como as mais utilizadas no país (MALAVOLTA, 1980). A escolha de determinada fonte é baseada na sua eficiência em suprir P para as plantas e em sua relação custo:benefício (GOEDERT; LOBATO, 1984).

Os fertilizantes totalmente acidulados são os mais utilizados devido ao seu menor custo por unidade de P, onde destacam-se os superfosfatos, que são obtidos pela acidulação das rochas fosfatadas (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). O superfosfato simples apresenta em sua composição cerca de 20 % de  $P_2O_5$  total, 19% e 12% de Ca e S na forma de  $CaSO_4$ , respectivamente (ALCARDE, 2007).

Já os termofosfato são definidos como fertilizantes resultantes de tratamento térmico de rochas fosfatadas com ou sem adição de outros materiais (silicatos de magnésio), esse tratamento visa converter o fósforo para forma disponível aos vegetais. O termofosfato magnésiano apresenta cerca de 18% de  $P_2O_5$  total, sendo 16 % solúvel em ácido cítrico a 2%, e cerca de 20%, 9% e 25% de Ca, Mg e SiO, respectivamente (MALAVOLTA et al., 2002a), sendo a sua solubilidade grandemente influenciada pelo pH e pela matéria orgânica do solo. Diversos trabalhos em diferentes culturas têm evidenciado bons resultados apresentados pelos termofosfatos, e em alguns casos demonstram ser tão eficientes quanto os fertilizantes solúveis em água (CASA NOVA, 1995; GOEDERT; LOBATO, 1984; MOREIRA et al., 1997). Segundo Castro (1991), o aumento da produção de matéria seca não seria atribuído apenas à disponibilidade de P nesses produtos; os efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de Ca e Mg presentes nesses materiais também devem ser levados em consideração.

Poucos têm sido os trabalhos realizados com P, em cafeeiros em produção, visando avaliar quais as melhores fontes e doses dos fertilizantes

fosfatados, assim como os efeitos que eles exercem sobre o desenvolvimento e produtividade do cafeeiro. Melo et al. (2005a), testando o efeito de diversas fontes de P no desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, relatam que o termofosfato magnésiano, por apresentar uma porcentagem de P solúvel, e outra, disponibilizada de maneira gradual, proporcionou juntamente ao superfosfato simples as maiores produtividades.

São mais encontrados na literatura, resultados evidenciando a resposta do cafeeiro ao P nas fases iniciais de desenvolvimento, fase na qual acredita-se que o P seja muito importante, uma vez que a planta apresenta ainda um pequeno sistema radicular (MELO et al., 2005b). Segundo Matiello et al. (2002), a deficiência de P é mais prejudicial em plantas jovens, quando afeta o desenvolvimento radicular e da parte aérea. No entanto alguns autores têm dado importância ao forte dreno que uma lavoura em plena produção pode representar. Chaves (1982), verificou diminuição na concentração de P nos frutos de cafeeiro da variedade Catuaí de  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  para um mínimo de  $1,0 \text{ g kg}^{-1}$  dos 21 aos 197 dias após o início do aparecimento do chumbinho. Malavolta et al. (2002b) constataram que as flores constituem um forte dreno temporário de P, sendo extraído pelas variedades Catuaí e Mundo Novo 29,7 e 31,0 % do P total contido na planta, respectivamente.

Na Colômbia, Uribe (1983), verificou acréscimo na produtividade, da ordem de 15% para o P aplicado em cafeeiros adultos em apenas um dos oito ensaios avaliados por aquele autor.

Por muitos anos o cafeeiro foi considerado como uma planta que não responde a adubações fosfatadas de produção (BATAGLIA, 2004). No entanto diferentes pesquisas têm evidenciado boas respostas à aplicação de P em cafeeiros (BARROS et al., 2001; GALLO et al., 1999; GUERRA et al., 2007; PREZZOTTI; ROCHA, 2004; REIS et al., 2011).



Gallo et al. (1999), observaram aumento na produtividade do cafeeiro da ordem de 16%, em solos com baixos teores de P com a aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triplo. Resultados semelhantes, com acréscimo de 12% na produtividade, foram obtidos por Prezotti e Rocha (2004).

Barros et al. (2001) em trabalho com cafeeiros adensados no município de Martins Soares - MG, obtiveram maiores produtividades com a dose de 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado no sulco de plantio, aliado a adubação de manutenção após o quarto ano.

Moraes, Cervelini e Lazzarini (1974) em experimento realizado num LV na região de Campinas, obtiveram no primeiro biênio de produção acréscimo na produtividade do cafeeiro da ordem de 66% com a aplicação de 80 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/cova. Souza e Caixeta (1974) em um Podzólico Vermelho Escuro na Região Sul de Minas, encontraram-se respostas lineares a P quando adicionadas as quantidades de 0, 60 e 120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/cova, tendo como fonte o superfosfato simples.

Aumentos de produtividade mais expressivos em função da adubação com P em cafeeiros em produção, foram observados por Guerra et al. (2007) e por Reis et al. (2011) que encontraram incrementos de 73,4% e 138%, respectivamente, em cafeeiros irrigados em Latossolo sob cerrado em Planaltina -DF, sendo que nos dois casos o aumento de produção foi linear até 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (dose máxima estudada).

### **2.3 Fontes de P e alterações nas propriedades químicas e desequilíbrios nutricionais**

O equilíbrio dos nutrientes no solo é importantíssimo para obtenção de elevadas produtividades, sendo que alterações em propriedades químicas do solo em função da aplicação de elevadas doses de insumos são comuns. Os termofosfatos, por exemplo, apresentam efeito sobre o pH (BALDEÓN, 1995;

BÜLL, 1993; GOEDERT; LOBATO, 1984; KORNDÖRFER; GASCHO, 1999; LOBATO, 1982; MORELLI, 1991; RAMOS et al., 2006; SANTOS et al., 2006; YOST et al., 1982), sendo sua ação neutralizante devido ao índice de alcalinidade em função da presença do ânion silicato, na forma de silicato de cálcio ou magnésio ( $\text{CaSiO}_3 / \text{MgSiO}_3$ ) (BALDEÓN, 1995). O  $\text{CaSiO}_3 / \text{MgSiO}_3$  dissocia-se e produz íons  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SiO}_3$ ; o  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ , por sua vez, desloca o  $\text{Al}^{3+}$  do complexo, enquanto o  $\text{SiO}_3$  neutraliza os íons  $\text{H}^+$  presentes na solução do solo e converte-se em  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  (MALAVOLTA, 1985). De acordo com Furtini Neto et al. (2001), esse fertilizante possui equivalente em  $\text{CaCO}_3$  de +50, onde a ação neutralizante que ocorre pela aplicação de  $1 \text{ ton ha}^{-1}$  de termofosfato magnésiano corresponde à aplicação de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de calcário com PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) de 100%. Devido ao seu poder em neutralizar os componentes da acidez e fornecer bases, o termofosfato também tem efeito sobre a saturação por bases (V%), conforme observado por Beltrán, Silveira e Passos (1998) e Mello et al. (1981)

Sabe-se que a acidez excessiva limita o crescimento e produtividade de muitas culturas em grande parte dos solos agrícolas de regiões tropicais. De maneira geral o pH do solo na faixa de 5,5 a 6,5 é favorável ao crescimento da maioria das plantas (MEURER, 2007). Porém, em solos com pH acima dessa faixa a disponibilidade de alguns nutrientes, principalmente os micronutrientes catiônicos é fortemente reduzida. Segundo Nunes et al. (2004), a correção da acidez associada à adição de elevadas doses de fertilizantes fosfatados, tem sido relatada como uma das causas do aparecimento de sintomas de deficiência de Fe em cafeeiros cultivadas em solos com altos teores desse nutriente.

Em ensaios com gesso agrícola é comum se observar desequilíbrios no complexo de troca em função da adição de  $\text{Ca}^{2+}$  e da lixiviação de bases, principalmente  $\text{Mg}^{2+}$ , a qual é facilitada pela presença do íon  $\text{SO}_4^{2-}$  (CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2003; OLIVEIRA; PAVAN, 1996), há de se

considerar também que o  $\text{MgSO}_4$  é mais solúvel que o  $\text{CaSO}_4$  (FREIRE et al., 2007), e que o  $\text{Mg}^{2+}$  tende a ser trocado pelo Ca e permanecer em solução, o que favorece sua lixiviação.

A grande mobilidade vertical de cátions, principalmente Mg, ocasionada pelo gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) (SALDANHA, 2005), deve-se a boa solubilidade desse produto, à inalteração das cargas elétricas, e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo (CAIRES et al., 1998; DIAS et al., 1994; ERNANI; BARBER, 1993). De acordo com Alcarde (2007), o superfosfato simples apresenta em sua composição cerca 19% e 12 % de Ca e S na forma de  $\text{CaSO}_4$ , respectivamente.

Neste sentido a aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados em cafeeiros, deve ser acompanhada com critérios através de análises de solo e de folhas, uma vez que estes podem causar desequilíbrios no solo.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, C. J. Fertilizantes. In: NOVAIS R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. XII, p. 740.
- ALCARDE, C. J.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2003. p. 4. (Informações Agronômicas, 102).
- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 537-558.
- ARAÚJO, I. B. **Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em primeiro cultivo**. 2001. 76 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. Piracicaba, 1995. 88 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- BARROS, U. V. et al. Doses e fontes de fósforo em cafeeiros super adensados em solo LVAh na Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Anais...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 2001. p. 27-28.
- BATAGLIA, O. C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 307-328.
- BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I.; PAZ, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extrato químico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, May/Aug. 1998.
- BÜLL, L. T. **Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e guminosa forrageiras**. 1986. 107 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CAIRES, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, mar./abr. 2003.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 315-327, 1999.

CASA NOVA, E. F. Agronomic evaluation of fertilizers with special reference to natural and modified phosphate rock. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 3, p. 211- 218, 1995.

CASTRO, C. **Avaliação agrônômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru, PA**. 1991. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agropecuária Tropical) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1991.

CHAVES, J. C. D. **Concentração de nutrientes em frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (Coffea arabica L. CV. Catuaí)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982. 131 p.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café Safra 2011**: segunda estimativa. Brasília, 2011. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 7 mar. 2011.

CORRÊA, J. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 471-550.

DIAS, L. E. et al. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 373-380, 1994.

ERNANI, P. R.; BARBER S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 41-46, 1993.

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FREIRE, J. F. et al. Gesso mineral do araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 4, p. 199-213, 2007.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252 p.

GALLO, P. B. et al. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 97-102, 1984.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, set. 2001.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Item**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: [s. n.], 1999. p. 313-316.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. p. 201-239.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária**, Brasília, v. 37 n. 7, p. 1017-1022 jul. 2002b.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos & adubações**. São Paulo: Nobel, 2002a. 200 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. Piracicaba: Fertilizantes Mitsui, 1985. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. New York: Academic, 1995. 889 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: [s. n], 2002.

MELO, B. et al. Concentração de macronutrientes em folhas de cafeeiro, em função de fontes e doses de fósforo, em solo de cerrado em Patrocínio, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 47-57, maio/ago. 2005a.

MELO, B. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, mar./abr. 2005b.

MELLO, F. A. F.; ARTUR, V.; VICTORIA, R. Efeito de três adubos fosfatados sobre a acidez de um solo hidromórfico. **Revista de Agricultura**, Recife, v. 56, n. 4, p. 301-311, 1981.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; SBCS, 2007. p. 471-550.

MORAES, F. R. P.; CERVELINI, G. S.; LAZZARINI, W. Adubação química com N, P, K, B e Zn em cafeeiros plantados em Latossolo Vermelho Amarelo Orto da região de Campinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa, 1974. p. 281-282.

MOREIRA, A. et al. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotópico, químico e biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 78-84, 1997.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MORELLI, J. L. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas produtividades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 57-61, 1991.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 133-204.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: 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.

NUNES, F. N. et al. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 423-429, 2004.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47- 57, 1996.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, maio/ago. 2004.



PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 605-664.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAMOS, L. A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 849-857, 2006.

REIS, T. H. P. et al. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 503-512, 2011.

RESENDE, A. V. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado**. 2004.169 p. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 201-222.

SALDANHA, E. C. M. **Gesso mineral em cana-de-açúcar, efeitos no solo e na planta**. 2005. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; PEREIRA, E. M. Fontes e doses crescentes de  $P_2O_5$  (fósforo) na formação do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 1998. p. 93-94.

SANTOS, J. R. et al. Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 323–330, 2006.

SANTOS, J. Z. L. **Frações de fósforo em solo da região do cerrado, adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho**. 2005. 65 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 685-694, set./out. 2005.

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.

SOUZA, S. P.; CAIXETA, J. V. M. Resposta do cafeeiro Mundo Novo à aplicação de nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa, 1974. p. 276.

URIBE, H. A. Efecto del fósforo em la producción de café. **Cenicafe**, Chinchiná, v. 34, n. 1, p. 3-15, enero/marzo 1983.

YOST, R. S. et al. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.

**CAPÍTULO 2 Fontes e doses de fósforo na dinâmica e disponibilidade do nutriente em um argissolo vermelho distrófico cultivado com cafeeiros**

## RESUMO

O fósforo (P) tem sido apontado como um dos nutrientes mais limitantes ao rendimento das culturas, principalmente em solos com avançado grau de intemperismo, características típicas de grande parte dos solos brasileiros. Com objetivo de testar doses e fontes de P na produtividade e atributos do solo e da planta, foi instalado em 2008 um experimento no município de Três Pontas – MG, em uma área de um Argissolo Vermelho na Fazenda Experimental da EPAMIG, com a cultivar Catiguá MG-2, plantada no espaçamento de 3,60 x 0,60 m. As adubações foram realizadas levando em consideração o resultado da análise de solo, exceto para o fósforo. As doses anuais testadas foram 0, 75, 150, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sendo as fontes utilizadas o superfosfato simples e o termofosfato magnésiano, em uma única aplicação em outubro. Em 2009, 2010 e 2011 foram retiradas amostras de solo na projeção da copa dos cafeeiros nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, após a colheita da safra de cada ano. Nesse mesmo período também foram retiradas amostras de folhas, na fase anterior do enchimento dos grãos. Procedeu-se análise físico-química do solo e análise de matéria seca das folhas. Os teores de P disponível no solo aumentaram pela aplicação das duas fontes, assim como os teores foliares de P, que se estabilizaram em torno de 1,8 – 1,9 g kg<sup>-1</sup>, com a aplicação de aproximadamente 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O cafeeiro mostrou-se responsivo à adubação fosfatada na fase de produção, obtendo-se na média de três safras, ganhos de 45,3 e 40,3%, para o superfosfato simples e termofosfato magnésiano, respectivamente, com a aplicação da maior dose estudada de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Tanto o superfosfato simples quanto o termofosfato magnésiano mostraram-se eficientes no suprimento de P para o cafeeiro, não havendo diferenças significativas em produtividade entre as duas fontes na média das três safras avaliadas.

Palavras-chave: Nutrição do cafeeiro. *Coffea arabica*. Adubação fosfatada.

### ABSTRACT

Phosphorus (P) has been pointed as one of the most crop yields limiting nutrient, especially in advanced weathering soils, like most Brazilian soils. In order to test doses and P sources on yield, soil and plant properties was installed in 2008 an experiment in the municipality of Três Pontas – MG, in a Red Argisol area at EPAMIG - Experimental Farm, with cultivar Catigua MG-2, planted at a spacing of 3.60 x 0.60 m. Fertilization was carried out considering the soil analysis results, except for phosphorus. The doses annual applied were 0.75, 150, 300, 450 and 600 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, using simple superphosphate as sources and the magnesium thermophosphate, in a single application in october. In 2009, 2010 and 2011 soil samples were taken at coffee canopy projection at 0-0.1 and 0-0.2m depth, after each year harvest. At the same period were also taken sampled leaves, before the stage of grain filling. Soil physico-chemical analysis was preceded of leaves dry matter. The available soil P contents increased due two sources application, as well as leaf P contents, which stabilized around 1,8 – 1,9 g kg<sup>-1</sup>, with the application of approximately 300 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The coffee plants shown to be responsive to phosphate fertilizer in production phase, from an average of three harvests, obtaining gains 45.3 and 40.3% for simple superphosphate and magnesium thermophosphate, respectively, with the application 600 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses. Both, simple superphosphate as magnesium thermophosphate were effective in coffee P supplying, no significant differences in productivity between the two sources in the media of the three harvests evaluated.

Keywords: Coffee Nutrition. *Coffea arabica*. Phosphorus fertilization.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo que a produção nacional para o ano de 2011 foi estimada em 43,15 milhões de sacas. O Estado de Minas Gerais destaca-se como maior produtor, sendo grande parte provinda da Região Sul de MG (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011). Essa região de relevo montanhoso é produtora de cafés de alta qualidade, fato que tem sido atualmente de grande diferencial e tem proporcionado melhores preços ao produto colhido. A cafeicultura, além do aspecto econômico para o produtor e para a balança comercial do País, apresenta, também, grande importância social, pois, demanda grande quantidade de mão de obra em toda sua cadeia de produção, principalmente em regiões de relevo mais acidentado.

Os cafezais brasileiros, até a década de 60 eram implantados em áreas de média a alta fertilidade, originalmente ocupadas por mata. Com o maior rigor da legislação ambiental e elevação do custo das áreas mais férteis, a cultura se expandiu para áreas marginais em termos de fertilidade, onde a necessidade de correção e fertilização é maior. Esses solos são geralmente mais intemperizados com predominância de caulinita e oxidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) na fração argila, apresentando-se como grandes drenos de fósforo (P).

O P é um nutriente bastante investigado, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produção das culturas e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006). É também o nutriente que mais comumente limita a produção das culturas no País e assume a peculiaridade de ser aplicado em quantidades maiores do que aquelas exigidas pelas plantas (FURTINI NETO et al., 2001), sendo utilizado nas adubações, no Brasil, em quantidades maiores que as de nitrogênio (N) e

potássio (K) (RAIJ, 1991). Segundo Malavolta (1976) 75% dos solos brasileiros apresentam naturalmente teores baixos de P.

Em trabalho realizado por Corrêa et al. (2001), onde foram analisadas 75 amostras de solo e folhas de lavouras cafeeiras, representativas da Região Sul de Minas Gerais, constataram que 37,3% e 34,7 % das lavouras avaliadas apresentaram baixos e médios teores de P no solo, respectivamente. Também observaram que 49,3% dessas lavouras apresentaram teores foliares de P inferiores a  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ , teores considerados baixos por Bergmann (1992) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Por muitos anos o cafeeiro foi considerado como uma planta que não respondia às adubações fosfatadas de manutenção (BATAGLIA, 2004). Provavelmente essa afirmativa surgiu pelo fato desse ser o macronutriente exigido e exportado em menores quantidades por essa cultura (GUIMARÃES et al., 2011). Diversos resultados de pesquisas mostraram boas respostas dessa cultura à adubação fosfatada (BARROS et al., 2001; GALLO et al., 1999; PREZZOTTI; ROCHA, 2004). Sendo que, Guerra et al. (2007) e Reis et al., (2011), obtiveram respostas lineares à aplicação de altas doses de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  em um Latossolo originalmente sob vegetação de cerrado em Planaltina – DF. Entretanto, são poucos os trabalhos com utilização de diferentes fontes de P na adubação de manutenção em cafeeiros.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adubação de manutenção com doses crescentes de  $\text{P}_2\text{O}_5$  como superfosfato simples e termofosfato magnésiano em cafeeiros em produção na Região Sul de MG.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 2008, em um Argissolo Vermelho distrófico textura argilosa na Fazenda Experimental da EPAMIG, situada no município de Três Pontas – MG, em área plantada com a cultivar Catiguá MG-2. A área experimental está localizada nas coordenadas 21°20'38" de latitude Sul e 45°28'48" de longitude Oeste, à 940 m de altitude.

O clima da região é do tipo Cwa com características de Cwb, apresentando duas estações definidas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), segundo a classificação climática de Köppen.

A lavoura foi implantada em fevereiro de 2004, em espaçamento de 3,60 x 0,60 m com uma planta por cova. As adubações realizadas no plantio foram: 200 g m<sup>-1</sup> de calcário calcítico, 300 g m<sup>-1</sup> de superfosfato simples, 100 g m<sup>-1</sup> de esterco de curral e 250 g da formulação 20-00-20 parcelados em 3 aplicações no primeiro ano após o plantio.

A partir do segundo ano até a instalação do ensaio as adubações foram realizadas conforme a CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais: 5ª aproximação (GUIMARÃES et al., 1999), as pulverizações foliares foram realizadas quando necessárias em função da análise de folhas, utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, sulfato de manganês, cloreto de potássio e oxiclreto de cobre.

No início de 2008, antes da instalação do experimento, foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-0,2 m para caracterização química e física da área (Tabela 1). Os tratos culturais e fitossanitários foram comuns a todos os tratamentos e seguiram o manejo adotado na propriedade. As adubações continuaram sendo realizadas conforme a CFSEMG: 5ª aproximação (GUIMARÃES et al., 1999), levando em consideração os resultados da análise de solo, exceto para o fósforo.



Em 2009 foi realizada calagem, aplicando-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário cálcico com PRNT de 100% na projeção da copa dos cafeeiros em todo experimento, nos outros anos não foi feita a reaplicação de calcário. Os tratamentos constituíram da aplicação de 6 doses de P em duas fontes, sendo: 0 (testemunha), 75, 150, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato simples e termofosfato magnésiano não enriquecido com micronutrientes.

Tabela 1 Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho distrófico, na profundidade de 0-0,2 m, da Fazenda Experimental da EPAMIG de Três Pontas – MG, antes da instalação do experimento

<b>pH</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>M</b>
água	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
5,6	184	2,6	0,7	0,1	3,2	3
<b>M.O.</b>	<b>P</b>	<b>P-rem</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	
dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			-----g kg <sup>-1</sup> -----		
2,1	8,2	26,4	280	320	400	

O delineamento experimental em blocos casualizados, com esquema fatorial 6x2 com cinco repetições utilizando-se 10 plantas por parcela, sendo as 8 centrais consideradas úteis. Os tratamentos foram aplicados manualmente em uma só vez, no início do período chuvoso (outubro), sendo reaplicados anualmente no mesmo período.

A nutrição mineral da lavoura foi acompanhada através de análises foliares, de amostras coletadas antes da fase de enchimento de grãos, e de análises de solo de amostras coletadas na projeção da “copa” dos cafeeiros nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, sempre após a colheita, antes da aplicação anual dos tratamentos. As amostras de solo foram coletadas utilizando-se trado, e para cada profundidade foram retiradas amostras compostas em pontos diferentes, respeitando-se a independência das camadas. Para análise do material vegetal, foram coletadas folhas no terço médio das plantas, do terceiro ou quarto pares de folhas do ramo plagiotrópico.

As análises dos materiais foram feitas no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal de Lavras. A caracterização química do solo (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H + Al, P, P-remanescente) foi realizada segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2009). Para a determinação dos teores de P no solo foram utilizados os extratores Mehlich- 1(EMBRAPA, 2009) e a resina de troca iônica (RAIJ et al., 2001). Para determinação dos teores de nutrientes na matéria seca das folhas foram utilizados os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

A avaliação da eficiência das fontes de P foi feita mediante cálculo do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) descrito por Chien e Hammond (1978):

$$IEA(\%) = 100(P_n - P_0) / (PSFT - P_0)$$
, sendo:  $P_n$ , a produção obtida com a fonte na dose  $n$ ;  $P_0$ , a produção da testemunha (0 mg kg<sup>-1</sup> de P); PSFT, a produção obtida com a fonte solúvel na dose  $n$ .

Para o cálculo da produção correspondente à máxima eficiência econômica utilizou-se a dose equivalente a 90% da máxima produção física (ALVAREZ V., 1996).

As produções das parcelas nos anos de 2009, 2010 e 2011 foram medidas, avaliadas as produtividades nos diferentes tratamentos, sendo a colheita realizada manualmente sobre “pano”.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ajustadas as equações de regressão para avaliar os teores de P no solo e na planta, assim como para a produtividade. Foram feitos também, quando necessários, testes de média (Skott-Knott, 5%) para avaliar o efeito das fontes. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final do período de avaliação de três anos observou-se aumentos nos teores de P no solo extraído pelo Mehlich-1, sendo que nos anos de 2010 e 2011 o comportamento foi linear para as duas fontes estudadas nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m (Figura 1). Observou-se também que os teores obtidos com a utilização de superfosfato simples avaliados pelo extrator Mehlich-1 foram maiores que aqueles obtidos com a aplicação de termofosfato magnésiano.

Os teores de P observados, pela resina de troca iônica, também se elevaram em função das doses aplicadas, os quais apresentaram-se superiores nos tratamentos com termofosfato magnésiano, nas profundidades 0-0,1 e 0-0,2 m em 2010, com resposta linear em função das doses (Figuras 2B e 2C). Segundo Raij (1978), a resina retira o P apenas nas formas solúveis e lábeis não superestimando a quantidade de P disponível para as plantas, enquanto o Mehlich- 1 apresenta ação preferencial na dissolução de fosfatos de cálcio (MEHLICH, 1978). Moreira e Malavolta (2001), testando diferentes fontes, doses e extratores de P, concluíram que os extratores Mehlich- 1 e resina foram similares ao estimar o P disponível no solo em função da aplicação de termofosfato magnésiano.

Os maiores teores de P disponível, foram observados na profundidade de 0-0,1 m (Figuras 1 e 2), refletindo a baixa mobilidade do nutriente no solo, uma vez que os fertilizantes para cafeeiro são aplicados na superfície, sem incorporação. Resultados semelhantes foram observados por Reis et al. (2011). Os maiores teores de P foram observados em 2011, o que é coerente, com a reaplicação anual dos tratamentos. De acordo com Conte, Anghinoni e Rheinheimer (2003), a adsorção de P ocorre primeiramente nos sítios de maior estabilidade química e, posteriormente, o nutriente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas. O aumento nos

teores de P disponível no solo, provavelmente, ocorreu devido à saturação dos sítios de adsorção que oferecem maior estabilidade química, aumentando posteriormente à disponibilidade desse nutriente, com reflexos nos teores foliares (Figura 4) e nas produtividades (Figura 5 e 6).

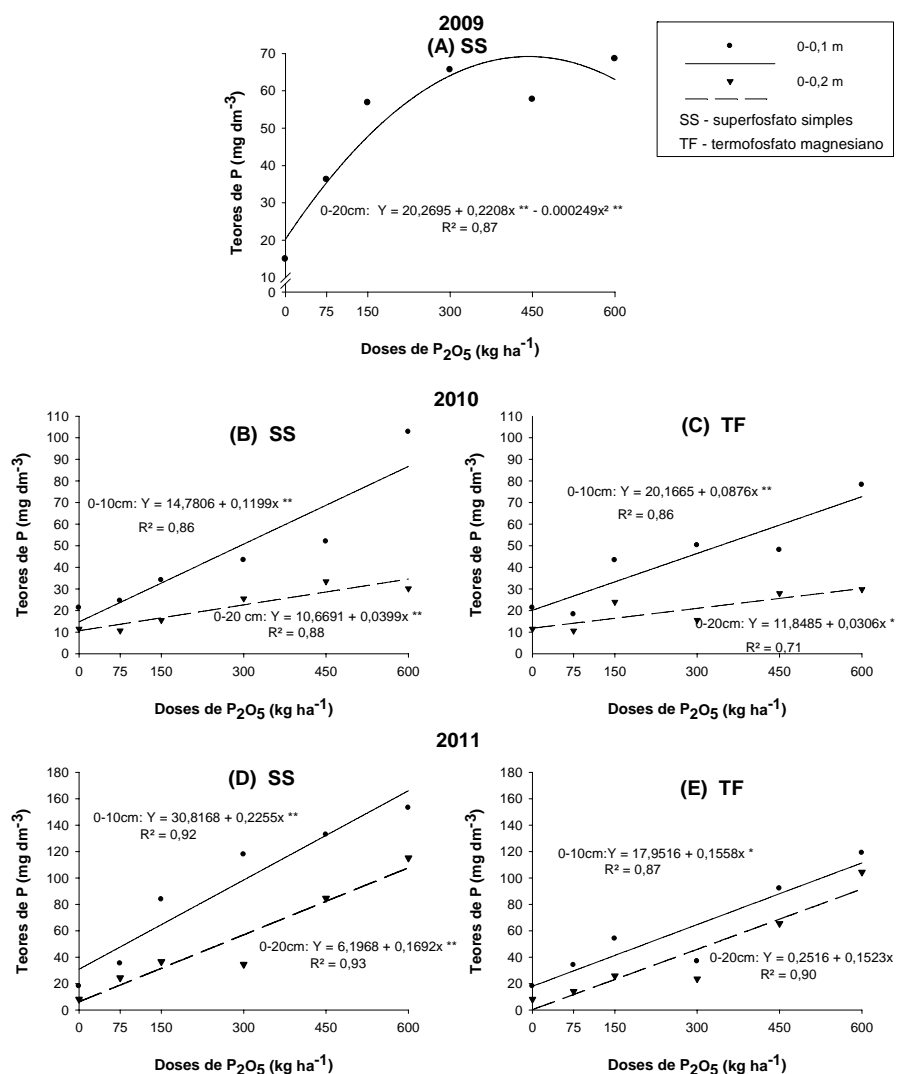


Figura 1 Teores de fósforo disponível pelo extrator de Mehlich- 1 no solo, nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, num PVD de Três Pontas - MG, em função da aplicação superficial anual de duas fontes e seis doses de fósforo, em amostras coletadas nos anos de 2009, 2010 e 2011. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1%

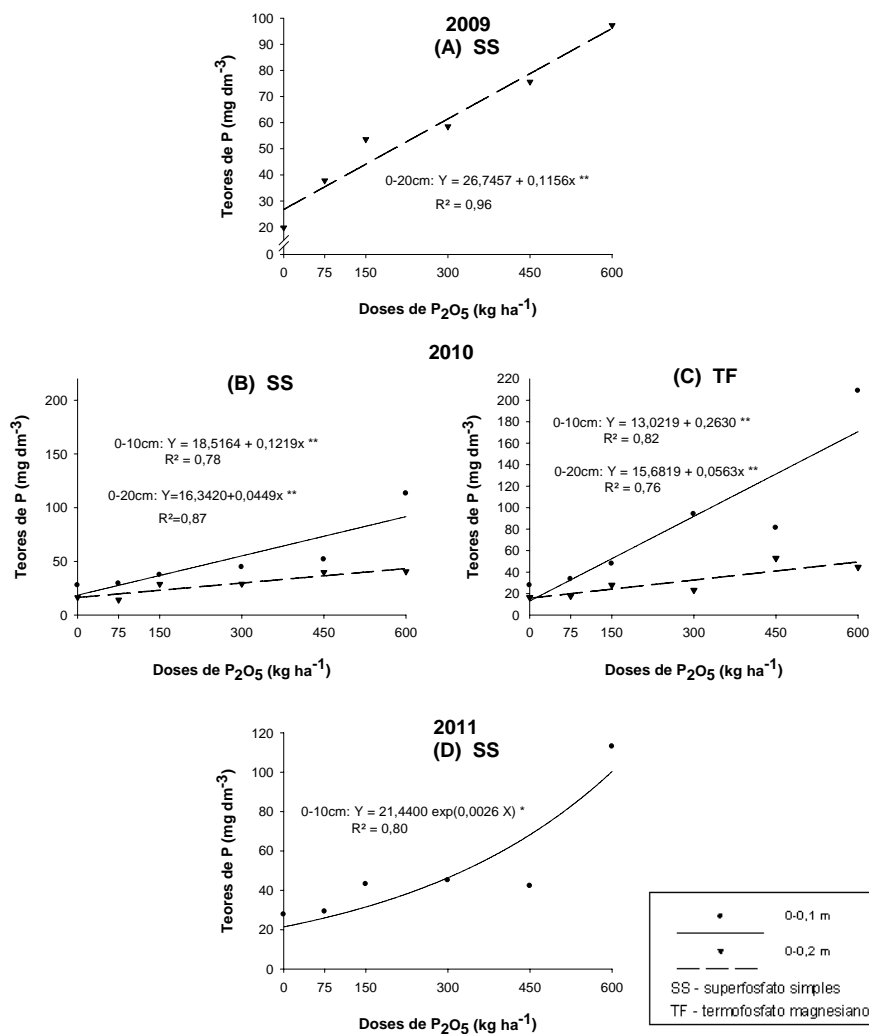


Figura 2 Teores de fósforo disponível pela resina de troca iônica no solo, na profundidade de 0-0,1 e 0-0,2 m, num PVD de Três Pontas - MG, em função da aplicação anual de diferentes fontes e doses de fósforo, em dois anos. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1%

É interessante observar que, para este solo (argiloso) os teores de P extraídos e considerados como muito bons são de  $13,5 \text{ mg dm}^{-3}$  pelo Mehlich-1

(GUIMARÃES et al., 1999) e de  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  pela resina de troca iônica (RAIJ et al., 1997) para a profundidade de 0-0,2 m. De acordo com essas recomendações, para uma produtividade de 50 sacas de café beneficiado  $\text{ha}^{-1}$  seria necessária a aplicação de 0 ou  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , segundo Guimarães et al. (1999) e Raij et al. (1997), respectivamente. Quando se substituem as doses ( $0$  ou  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) recomendadas por esses autores na equação de produção média estimada do triênio 2009-2010-2011 (Figura 6), obtém-se as produtividades de 42,7 e 43,3 sacas  $\text{ha}^{-1}$  para o superfosfato simples e termofosfato magnésiano, referentes à dose  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (GUIMARÃES et al., 1999) ; e 43,5 e 44,0 sacas  $\text{ha}^{-1}$  para o superfosfato simples e termofosfato magnésiano, referente a dose de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (RAIJ et al., 1997). Sendo estas produtividades inferiores a 50 sacas esperadas; e aquém das 58,4 e 56,4 sacas  $\text{ha}^{-1}$  obtidas com a aplicação de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  como superfosfato simples e termofosfato magnésiano em uma média de três produções, respectivamente.

Em estudo realizado por Corrêa et al. (2001), com amostras representativas de lavouras cafeeiras da Região Sul de Minas Gerais, constatavam que 37,3% e 34,7% das lavouras avaliadas apresentaram teores baixos e médios de P, respectivamente. Ao se considerar que as maiores produtividades foram obtidas com teores bem acima dos considerados adequados por esses autores, supõe-se que este nutriente pode estar limitando a produtividade em grande parte das lavouras cafeeiras da região.

O fósforo remanescente (P-rem) mede a quantidade de P que permanece em solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de P adicionada ao solo. Essa determinação tem sido uma solução prática para se obter um índice do fator capacidade de P dos solos (NOVAIS; SMYTH, 1999). Os aumentos nos valores de P remanescente (Figura 3) indicam uma possível saturação de parte dos sítios de adsorção do solo, ou diminuição da “energia de ligação” do P com o solo descrita por Novais e Smyth (1999), aumentando a quantidade de P que

permanece em solução e conseqüentemente disponível para o cafeeiro. Observa-se que o comportamento do P-rem em função das doses aplicadas parece ser gradativo, pois o comportamento foi quadrático, tendendo a estabilizar com a aplicação das duas fontes (Figuras 3A e 3B), exceto no ano de 2011, onde esse comportamento foi linear (Figura 3C).

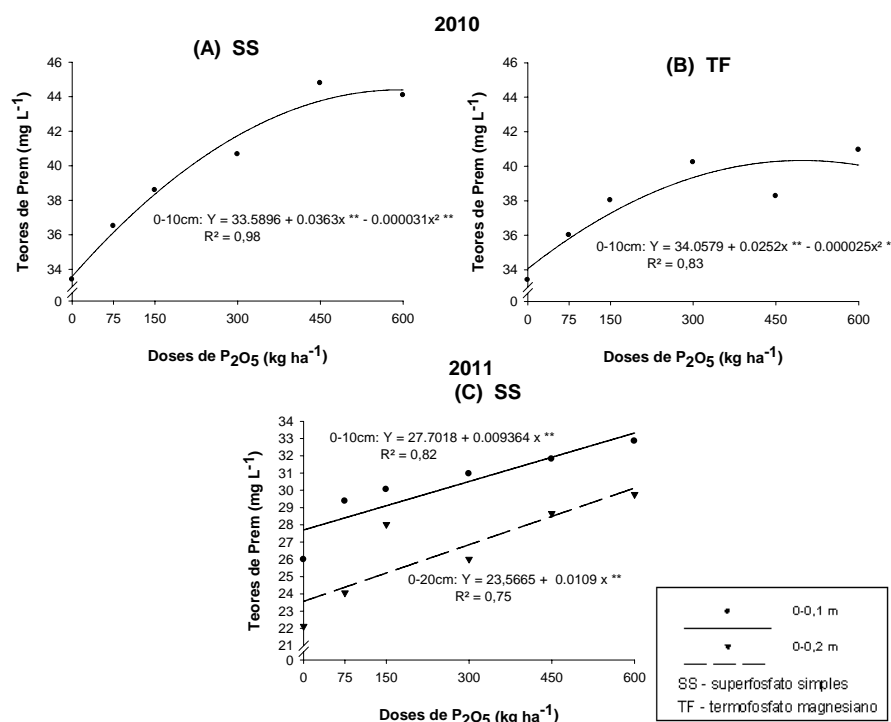


Figura 3 Teores de fósforo remanescente no solo, na profundidade de 0-0,1 e 0-0,2 m, num Pvd de Três Pontas - MG, em função da aplicação anual de diferentes fontes e doses de fósforo, em dois anos. Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1%

Os teores foliares de P em 2009 aumentaram de forma linear apenas para o superfosfato simples (Figura 4A), e nos anos de 2010 e 2011 houve aumento para as duas fontes, mas o comportamento foi exponencial (Figuras 4B, 4C e 4E), e quadrático apenas para o superfosfato simples nesse último ano (Figura



4D). Observa-se ainda, que na mesma dose os teores foliares de P aumentaram com a idade da planta (Figura 4), refletindo uma provável saturação de parte dos sítios de adsorção, devido à reaplicação anual dos tratamentos, conforme observado nos valores de P-rem (Figura 3). No entanto, Reis (2012) observou respostas lineares em produtividade em função da aplicação anual de até 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (dose máxima estudada) em todas as sete safras avaliadas, mostrando que mesmo com a elevação dos teores de P disponível no solo, há a necessidade de reaplicação de fósforo para um melhor aproveitamento do nutriente pelas plantas.

Em estudo realizado por Melo et al. (2005a), com diversas fontes e doses de fósforo aplicadas no sulco de plantio do cafeeiro, não foram observados aumentos nos teores foliares de P aos 24 meses após o plantio, porém aos 36 meses após o plantio houve elevação desses teores. Os termofosfatos apresentam elevada solubilidade em ácido cítrico e baixa solubilidade em água, o que explica a baixa resposta do cafeeiro a este fertilizante no primeiro ano de avaliação. De acordo com Goedert, Sousa e Lobato (1985), essa solubilidade é grandemente influenciada pelo pH e pela matéria orgânica do solo.

Observa-se que houve um aumento expressivo nos teores foliares de P a partir da dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com tendência de estabilizar-se em torno de 1,8-1,9 g kg<sup>-1</sup> a partir da dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto as produtividades tiveram esse comportamento apenas em 2009 e no biênio 2009-2010 para o termofosfato magnésiano (Figuras 5B e 5D), sendo linear nos demais anos (Figuras 5A, 5C e 6), mostrando que para a obtenção de elevadas produtividades a demanda energética do cafeeiro é elevada, uma vez que se observou nas plantas maior desenvolvimento vegetativo e/ou maior extração pelos frutos, devido às produtividades mais elevadas dos tratamentos que receberam as maiores doses de P. Resultados semelhantes foram encontrados por Reis et al.

(2011), onde o teor foliar se estabilizou em  $1,98 \text{ g kg}^{-1}$  a partir da dose de  $270 \text{ kg ha}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em cafeeiros irrigados em Planaltina – DF.

É importante ressaltar que é nessa fase de amostragem que são encontrados os maiores teores foliares de P em plantas de cafeeiro, adequadamente nutridas (LAVIOLA et al., 2007). Ainda neste trabalho, os autores encontram menores teores foliares de P com o aumento das doses dos nutrientes, justificando tal fato pela intensidade de dreno pelos frutos em função das maiores produtividades advindas da aplicação de P.

Outros trabalhos também constataram aumentos nos teores foliares de P em função da aplicação de doses crescentes. Martins et al. (2007) encontraram aumento linear até a dose máxima estudada ( $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ), Gallo et al. (1999), verificaram aumento na concentração de P nas folhas à medida que se elevou a dose de P no solo de  $30$  a  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Os teores foliares de P considerados adequados para o cafeeiro são  $1,2$ - $1,6 \text{ g kg}^{-1}$  (GUIMARÃES et al., 1999; MARTINEZ et al., 2004),  $1,2$ - $2,0 \text{ g kg}^{-1}$  (JONES JUNIOR et al., 1991; MILLS; JONES JUNIOR, 1996);  $1,5$ - $2,0 \text{ g kg}^{-1}$  (MALAVOLTA; FERNANDEZ; ROMERO, 1993; REUTER; ROBINSON, 1988);  $1,6$ - $2,0 \text{ g kg}^{-1}$  (BERGMANN, 1992) e  $1,6$ - $1,9 \text{ g kg}^{-1}$  (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Na testemunha ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), exceto em 2009, os teores foliares mostraram-se dentro da faixa sugerida pela maioria dos autores. Já nos demais tratamentos, nos quais se obteve as maiores produtividades, os teores foliares de P se encontraram acima da faixa considerada adequada segundo Guimarães et al. (1999) e Martinez et al. (2004). Observando os resultados desse ensaio e também daqueles obtidos por Reis et al. (2011), onde os teores foliares correspondentes às maiores produtividades se situam acima de  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ , acredita-se que o limite inferior da faixa considerada ideal pela maioria dos autores esteja baixo. Neste sentido, os resultados obtidos no presente trabalho à

nível de campo e com vários anos de avaliação, permite sugerir que para a obtenção de produtividades médias superiores a 55 sacas  $\text{ha}^{-1}$ , o teor crítico foliar de P a ser superior a  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ .

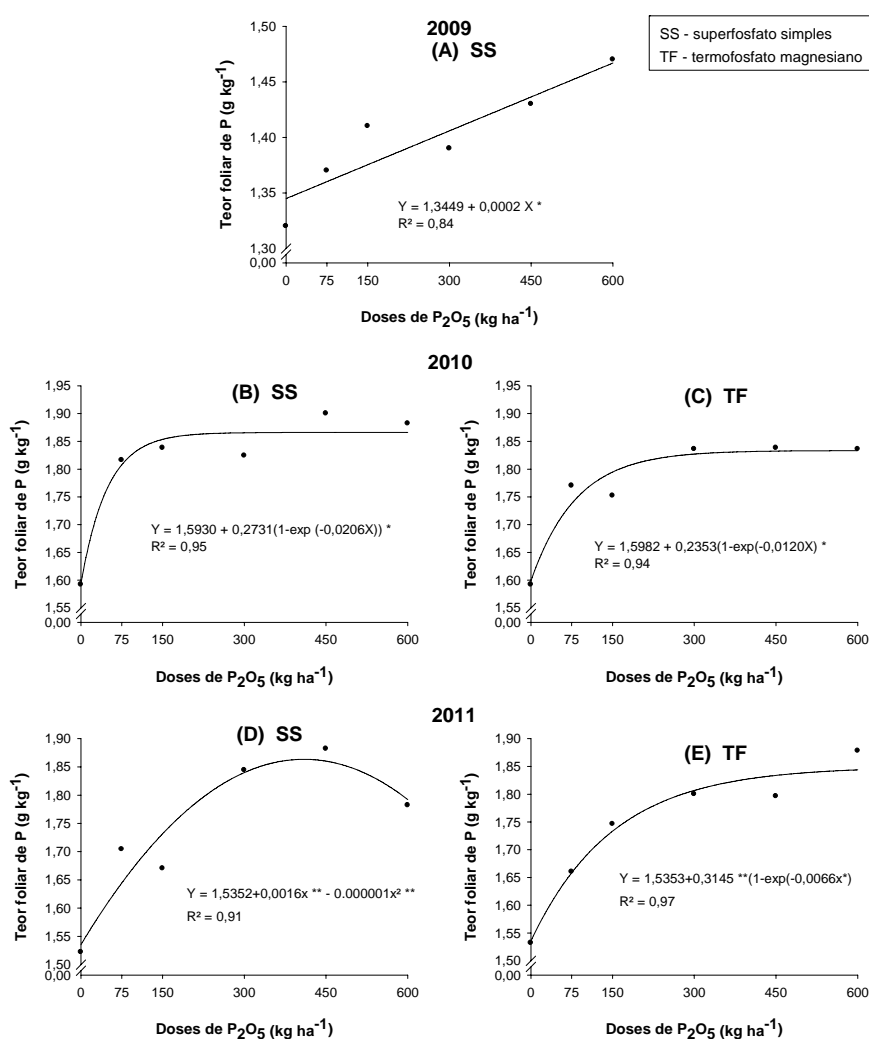


Figura 4 Teores foliares de P em cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em amostras coletadas em três anos. \* Significativo, pelo teste de t, a 5%

Em trabalho realizado por Corrêa et al. (2001), onde foram analisadas 75 amostras de folhas de lavouras representativas da Região Sul de MG, observou-se que 49,3% apresentaram teores foliares de P inferiores a  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ . Pode-se sugerir que, o teor desse nutriente pode estar limitando a produtividade em parte das lavouras cafeeiras da região.

Exceto para o termofosfato magnésiano em 2009 e no biênio 2009-2010 (Figuras 5B e 5D), as produtividades se comportaram de forma linear em função da aplicação de P (Figuras 5A, 5C e 6).

No ano de 2009, para o termofosfato magnésiano, a máxima produtividade ( $49,4 \text{ sacas ha}^{-1}$  de café beneficiado), foi obtida com a aplicação de  $422,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ , e a produção correspondente à máxima eficiência econômica ( $44,46 \text{ sacas ha}^{-1}$ ), obtida com a aplicação de  $189 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , proporcionando um aumento de aproximadamente 38% na produtividade em relação à testemunha (Figura 5 B). É importante ressaltar que mesmo a testemunha apresentou boas produtividades, se considerarmos que é uma lavoura de sequeiro, fato devido, em parte, pela adubação fosfatada de plantio a qual foi feita no sulco, não refletindo os teores de P observados na análise de solo, pois a amostragem foi realizada na projeção da copa.

Várias pesquisas de campo têm mostrado respostas positivas do cafeeiro à aplicação de P. Uribe (1983) verificou, na Colômbia, um acréscimo de 15% na produtividade para o P aplicado em cafeeiros adultos e Garcia e Ferreira (1997) testando diferentes fontes e doses de P em cafeeiros, verificaram a importância desse nutriente na formação do cafeeiro com aumentos de até 286% na produtividade, aos 30 meses após o plantio. Gallo et al. (1999), observaram aumento na produtividade do cafeeiro da ordem de 16%, em solos com baixos teores de fósforo com a aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  como superfosfato triplo, e acréscimo de 12% na produtividade também foi obtido por Prezotti e Rocha (2004). Barros et al. (2001) estudando o efeito de fontes e doses de P em

cafeeiros adensados no município de Martins Soares - MG, obtiveram maiores produtividades com a dose de 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aliado a adubação de manutenção após o quarto ano.

Aumentos de produtividade mais expressivos, em resposta a adubação com elevadas doses de P em fase de produção, foram observados por Guerra et al. (2007) e por Reis et al. (2011) que encontraram incrementos de até 73,4% e 138%, respectivamente, em cafeeiros irrigados em um Latossolo originalmente sob cerrado em Planaltina – DF. Em todas as sete safras avaliadas nesse ensaio as respostas em produtividade foram lineares até a dose máxima estudada, mostrando que o cafeeiro em fase de produção responde às adubações com este nutriente e que há a necessidade de reaplicação para suprir o dreno do solo e as demandas energéticas da planta (REIS, 2012).

Mera et al. (2011), estudando a adubação fosfatada sob diferentes regimes hídricos em cafeeiros na fase de produção implantados em um Latossolo originalmente sob cerrado, observaram que com suspensão da irrigação por 70 dias, a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (dose máxima estudada) foi a que proporcionou o maior desenvolvimento vegetativo e uma maior produtividade. Os autores ainda ressaltam que essa dose não foi suficiente para expressar o máximo potencial de produtividade, sugerindo ser possível a utilização de maiores doses.

Trabalhos realizados com diferentes culturas têm evidenciado resultados positivos em produtividade em função do suprimento de P via termofosfatos, os quais demonstram ser tão eficientes quanto os fertilizantes solúveis em água (CASA NOVA, 1995; GOEDERT; LOBATO, 1984; MOREIRA et al., 1997; MOREIRA; MALAVOLTA, 2001). Tais resultados têm sido atribuídos, além da eficiência no fornecimento de P, aos efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de Ca e Mg presentes nesses materiais (CASTRO, 1991).

Melo et al. (2005b) e Santinato et al. (1998), observaram em cafeeiros respostas positivas à aplicação de termofosfato no plantio, sendo que no trabalho do segundo autor a produtividade obtida com o termofosfato aos 40 meses foi superior àquela obtida com a fonte solúvel, no caso o superfosfato triplo. Não foram observadas no presente trabalho diferenças significativas nas produtividades entre as fontes em nenhum dos anos e nenhuma das doses para as produtividades. O incremento na produtividade com a utilização do superfosfato simples nas médias das três safras (2009, 2010 e 2011) foi de 45,3% ou 18 sacas  $ha^{-1}$ , e com a utilização do termofosfato magnésiano de 40,3% ou 16 sacas  $ha^{-1}$ , apresentando este último Índice de Eficiência Agronômica (IEA) de 89%, sendo que esse índice na produção em 2011 atingiu 101,38% (Figura 6D).

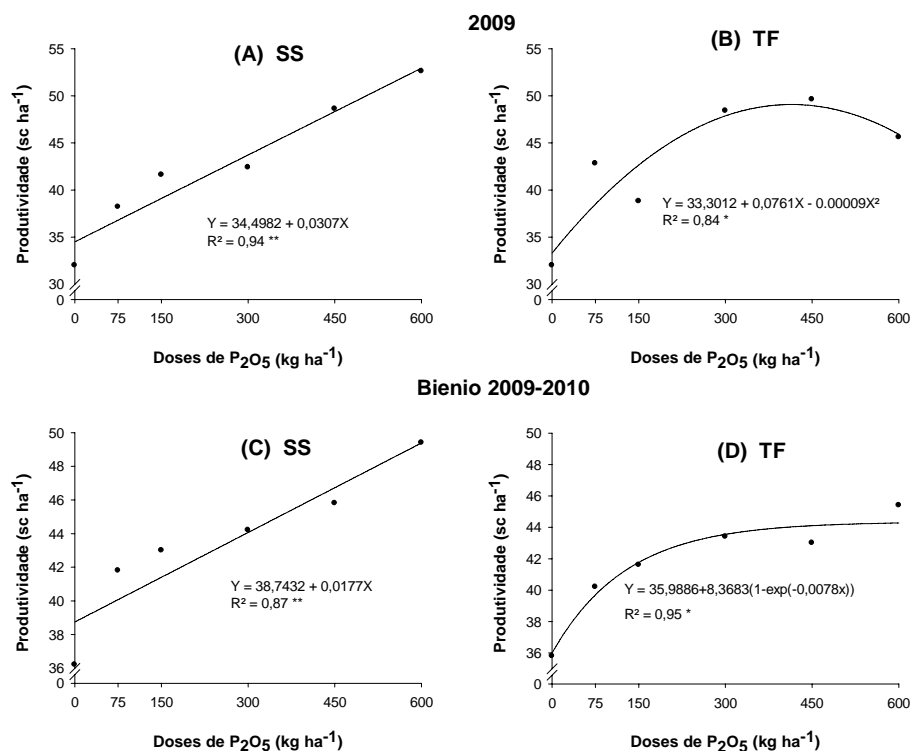


Figura 5 Produtividade de cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em 2009 e no biênio 2009-2010 (SS - superfosfato simples; TF - termofosfato magnésiano). Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1%

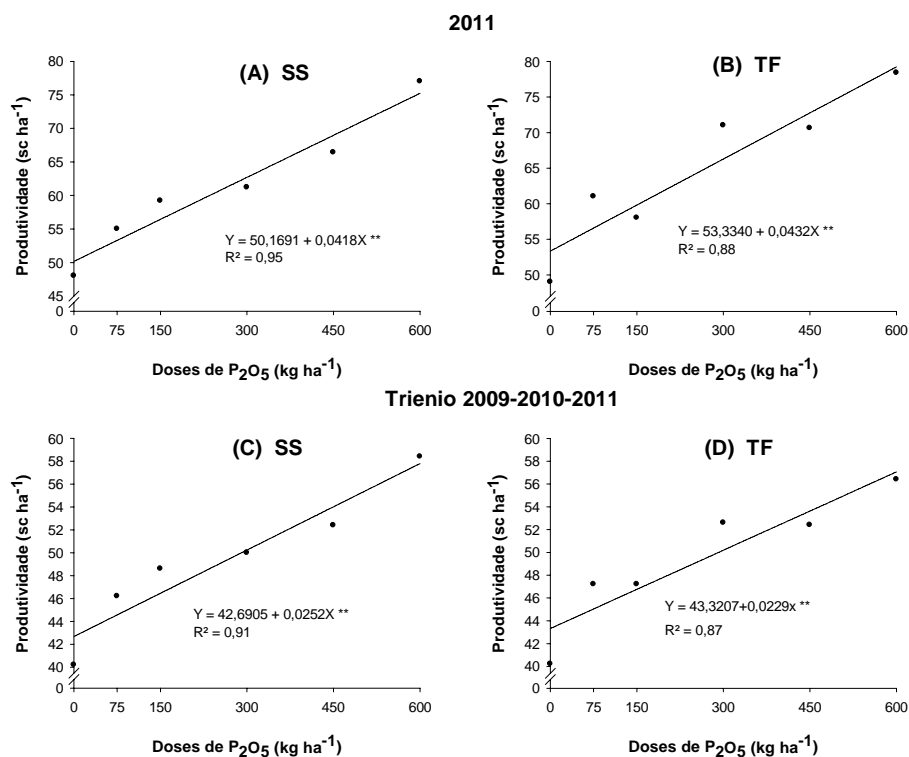


Figura 6 Produtividade de cafeeiros submetidos à adubação anual com diferentes fontes e doses de fósforo, em 2011 e no triênio 2009-2010-2011 (SS - superfosfato simples; TF - termofosfato magnésiano). Significativo, pelo teste de t, a \* 5% e \*\*1%

Segundo Guerra et al. (2006), a adubação fosfatada em cafeeiros na fase de produção deve ser fonte de energia para o crescimento de novos ramos da safra futura e não ser somente fundamentada na safra de grãos em formação. Esses autores ainda indicam a dose anual de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para manter o crescimento dos ramos vegetativos e reprodutivos e, uma produtividade média de 60 a 70 sacas  $\text{ha}^{-1}$ .

Na média das três safras avaliadas, não houve diferenças significativas nas produtividades obtidas pela aplicação das duas fontes em nenhuma das doses estudadas. Entretanto, o termofosfato parece disponibilizar o P para as plantas de



forma mais gradativa, visto a ausência de resposta nos teores foliares de P em 2009 (primeiro ano de avaliação) e a resposta menos expressiva na produtividade do cafeeiro nesse mesmo ano. Ressalta-se que esse ensaio continua ainda sendo conduzido, o que é importante para a avaliação de pelo menos mais uma safra, de modo que se completem dois biênios de produção.

Observando os dados do presente trabalho e os apresentados por Reis (2012), temos nesses dois ensaios a utilização de três fontes de P (Superfosfato triplo, superfosfato simples e termofosfato magnésiano), oito doses de  $P_2O_5$  (0, 75, 100, 150, 200, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup>), e vários anos de avaliação de campo. Em todos esses ensaios evidenciaram respostas lineares para as três fontes até as doses máximas estudadas. Isso comprova ser falsa a afirmativa de que o cafeeiro em fase de produção é uma planta pouco exigente em fósforo; e que as demandas energéticas das plantas, principalmente àquelas que apresentam elevado potencial produtivo, devem ser bem compreendidas, a fim de se aprofundar o conhecimento da dinâmica do P no cafeeiro.

#### 4 CONCLUSÕES

O cafeeiro mostrou-se responsivo à adubação fosfatada em fase de produção, obtendo-se em uma média de três safras, ganhos de 45,3 e 40,3%, para o superfosfato simples e termofosfato magnésiano, respectivamente, com a aplicação da maior dose estudada de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

As produtividades obtidas em 2009 e no biênio 2009-2010 pela utilização do termofosfato magnésiano se estabilizaram por volta de 300kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Tanto o superfosfato simples quanto o termofosfato magnésiano mostraram-se eficientes no suprimento de P para o cafeeiro, não havendo diferenças significativas entre as duas fontes.

Os teores foliares de P aumentaram com as doses, para as duas fontes, se estabilizando em torno de 1,8 – 1,9 g kg<sup>-1</sup>.

Os teores de P disponível pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca iônica no solo aumentaram com as doses, para as duas fontes estudadas.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 615-645.

BARROS, U. V. et al. Doses e fontes de fósforo em cafeeiros super adensados em solo LVAh na Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Anais...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 2001. p. 27-28.

BATAGLIA, O. C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 307-328.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants**: development, visual and analytical diagnosis. New York: G. Fisher, 1992. 741 p.

CASA NOVA, E. F. Agronomic evaluation of fertilizers with special reference to natural and modified phosphate rock. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, n. 3, p. 211- 218, 1995.

CASTRO, C. **Avaliação agronômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru, PA**. 1991. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agropecuária Tropical) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1991.

CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 935-939, 1978.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café Safra 2011**: segunda estimativa. Brasília, 2011. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 7 mar. 2011.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 893-900, 2003.

CORRÊA, J. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252 p.

GALLO, P. B. et al. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GARCIA, A. W. R.; FERREIRA, R. A. Estudos comparativos de doses de Atifós e outras fontes de  $P_2O_5$  na formação do cafeeiro - Varginha, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 1997. p. 4-5.

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

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985. p. 129-163.

GUERRA, A. F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG, [s. n.], 2006. Cap. 3, p. 83-115.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Item**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook**. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 29-40, 2007.

MALAVOLTA, E.; FERNADEZ, D. R.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 64, p. 1-13, 1993.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. 60 p. (Boletim Técnico, 72).

MARTINS, L. E. C et al. Estudo de sistemas de aplicação e doses de fósforo no desenvolvimento vegetativo do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5.; 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2007. 1 CD ROM.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, p. 477-492, 1978.

MELO, B. et al. Concentração de macronutrientes em folhas de cafeeiro, em função de fontes e doses de fósforo, em solo de cerrado em Patrocínio, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 47-57, maio/ago. 2005a.

MELO, B. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de patrocínio – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, mar./abr. 2005b.

MERA, A. C. et al. Regimes hídricos e doses de fósforo em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 302-311, 2011.

MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2nd ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.

MOREIRA, A. et al. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotópico, químico e biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 78-84, 1997.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1519-1527, dez. 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV/DPS, 1999. 399 p.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, maio/ago. 2004.

RAIJ, B. et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/Potafós, 1991. 343 p.

RAIJ, B. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 1-9, jan./abr. 1978.

REIS, T. H. P. Adubação fosfatada em doses elevadas para cafeeiros: impactos na disponibilidade, frações de fósforo e na produtividade. 2012. 138 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

REIS, T. H. P. et al. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 503-512, 2011.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual**. 2nd ed. Melbourne: Inkata, 1988. 218 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; PEREIRA, E. M. Fontes e doses crescentes de  $P_2O_5$  (fósforo) na formação do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBG/GERCA, 1998. p. 93-94.

URIBE-HENAO. A. Efecto del fósforo en la producción de café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 34, n. 1, p. 3-15, 1983.

**CAPÍTULO 3 Fontes e doses de fósforo no cafeeiro: atributos do solo e nutrição mineral das plantas**



## RESUMO

Muito se tem discutido a respeito da aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados em diversas culturas, porém com pouca importância aos seus efeitos na dinâmica do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de diferentes doses de  $P_2O_5$  através de duas fontes, nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho distrófico textura argilosa e, na dinâmica e disponibilidade de nutrientes para o cafeeiro. O experimento foi instalado em 2008 no município de Três Pontas – MG, na Fazenda Experimental da EPAMIG, com a cultivar Catiguá MG-2, plantada no espaçamento de 3,60 x 0,60 m. As adubações foram realizadas levando em consideração o resultado da análise de solo, exceto para o nutriente fósforo. As doses testadas foram 0, 75, 150, 300, 450 e 600  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , e como fontes o superfosfato simples e o termofosfato magnésiano, aplicadas anualmente no início do período chuvoso (outubro). O delineamento experimental utilizado foi um fatorial 6x2 em blocos casualizados com cinco repetições. Em 2009, 2010 e 2011 foram retiradas amostras de solo na projeção da copa dos cafeeiros nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, após a colheita da safra de cada ano. Nesse mesmo período também foram retiradas amostras de folhas, na fase anterior do enchimento dos grãos. Procedeu-se análises físico-químicas do solo e análise de matéria seca das folhas, a fim de acompanhar possíveis variações na dinâmica e disponibilidade de nutrientes em função dos tratamentos. As duas fontes testadas tiveram efeitos diferentes no solo e nas plantas. Os teores de Ca no solo e nas folhas aumentaram em função da aplicação do superfosfato simples; os de Mg diminuíram e os teores de S aumentaram apenas no solo. Já para o termofosfato magnésiano os teores de Mg aumentaram no solo e nas folhas; os teores de Ca aumentaram apenas no solo para essa fonte. O termofosfato magnésiano promoveu elevação do pH e da saturação por bases e redução nos teores foliares dos micronutrientes catiônicos. Com a aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados na cultura do cafeeiro, deve-se acompanhar com maior critério a nutrição foliar e os teores de nutrientes no solo para a correção de eventuais desequilíbrios.

Palavras-chave: Adubação fosfatada. Dinâmica de nutrientes. Nutrição do cafeeiro.

## ABSTRACT

Much has been discussed about phosphate fertilizers high doses application for various crops, but with little relevance to their soil dynamic effect. The objective of this paper was to evaluate different  $P_2O_5$  doses application from two sources, on the typic Red Argisol (Ultisol) chemical properties and, dynamics and nutrient availability for coffee plants. The experiment was installed in 2008 in the municipality of Três Pontas - MG, at EPAMIG Experimental Farm, with cultivar Catigua MG-2, planted at a spacing of 3.60 x 0.60 m. Fertilization was carried out considering the soil analysis results, except for phosphorus nutrient. The doses applied were 0.75, 150, 300, 450 and 600 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , using simple superphosphate as sources and the magnesium thermophosphate, implemented annually at the beginning of the rainy season (october). The experimental design was a 6x2 factorial in randomized blocks with five replications. In 2009, 2010 and 2011 soil samples were taken at coffee canopy projection at 0-0.1 and 0-0.2m depth, after each year harvest. At the same period were also taken sampled leaves, before the stage of grain filling. Soil physico-chemical analysis was preceded of leaves dry matter, to monitor possible changes in the dynamics and nutrient availability by the treatments. The two tested sources had different effects on soil and plants. The (Ca) contents in soil and leaves increased in function of the simple superphosphate application; the magnesium (Mg) decreased and the sulfur (S) content increased only in the soil. As for magnesium thermophosphate, the Mg contents increased in soil and leaves; Ca levels increased only in the soil for that source. The magnesium thermophosphate increase pH elevation and basis saturation and reduction in foliar contents of cationic micronutrients. With high phosphate fertilizers doses application to coffee trees, should be monitored with more criteria the leaf nutrition and nutrient levels in soil to correct any imbalances.

Keywords: Phosphorus fertilization. Nutrient dynamics. Coffee nutrition.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de nutrientes em função da adoção de cultivares de cafeeiros cada vez mais produtivos, da expansão das lavouras para solos de baixa fertilidade e do avanço no entendimento das necessidades dessa cultura, vem exigindo uma melhor compreensão da dinâmica dos nutrientes.

O estudo sobre a dinâmica do fósforo (P) consiste num dos maiores desafios relacionados à nutrição de plantas, principalmente em solos com avançado grau de intemperismo, realidade da maioria dos solos brasileiros. Em função do dreno de P nestes solos oxidicos, as quantidades de P aplicadas devem ser várias vezes maiores do que aquelas requeridas pelas culturas (FURTINI NETO et al., 2001). De acordo com Raij (1991), esse nutriente deveria ser utilizado nas adubações no Brasil em quantidades maiores que as de nitrogênio (N) e potássio (K). Além disso, deve-se considerar que o P é um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006).

A aplicação de elevadas quantidades de determinado insumo no solo pode causar desequilíbrios nutricionais, causados pela alteração de determinadas propriedades químicas e/ou pela interação entre íons no solo, tornando-os indisponíveis às plantas.

O superfosfato simples apresenta em sua composição cerca de 20% de  $P_2O_5$  total, 19% e 12% de Ca e S, respectivamente, na forma de  $CaSO_4$  (ALCARDE, 2007). Já o termofosfato magnésiano apresenta cerca de 18% de  $P_2O_5$  total, sendo grande parte solúvel em ácido cítrico, e cerca de 20%, 9% e 25% de Ca, Mg e  $SiO_2$ , respectivamente (VITTI; TREVISAN, 2000).

Além de ser uma excelente fonte de P, o superfosfato simples é uma importante fonte de Ca e S para o cafeeiro. Porém, por conter  $CaSO_4$  em sua composição, a aplicação de quantidades altas desse tipo de fertilizante poderiam eventualmente lixiviar bases, principalmente Mg, causando um desequilíbrio no

complexo de trocas. Diversos ensaios com gesso têm evidenciado tal fato (CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2003; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; VITTI; MALAVOLTA, 1985)

Já o termofosfato, pelo fato de ter índice de alcalinidade em função do íon silicato, tem efeito sobre o pH (BALDEÓN, 1995; BÜLL, 1993; GOEDERT; LOBATO, 1984; LOBATO, 1982; MORELLI, 1991; SANTOS et al., 2006; YOST et al., 1982), o que, dependendo da quantidade aplicada e, do manejo da lavoura em relação à adubação com micronutrientes, poderia ser um problema.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de  $P_2O_5$  como superfosfato simples e como termofosfato magnesiano nas alterações dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho distrófico, e na dinâmica e disponibilidade de nutrientes para o cafeeiro.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 2008, em um Argissolo Vermelho distrófico textura argilosa na Fazenda Experimental da EPAMIG, situada no município de Três Pontas – MG, em área plantada com a cultivar Catiguá MG-2. A área experimental está localizada nas coordenadas 21°20'38" de latitude Sul e 45°28'48" de longitude Oeste, à 940 m de altitude.

O clima da região é do tipo Cwa com características de Cwb, apresentando duas estações definidas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), segundo a classificação climática de Köppen.

A lavoura foi implantada em fevereiro de 2004, em espaçamento de 3,60 x 0,60 m com uma planta por cova. As adubações realizadas no plantio foram: 200 g m<sup>-1</sup> de calcário calcítico, 300 g m<sup>-1</sup> de superfosfato simples, 100 g m<sup>-1</sup> de esterco de curral e 250 g da formulação 20-00-20 parcelados em 3 aplicações no primeiro ano após o plantio.

A partir do segundo ano até a instalação do ensaio as adubações foram realizadas conforme a CFSEMG: 5ª aproximação (GUIMARÃES et al., 1999), as pulverizações foliares foram realizadas quando necessárias em função da análise de folhas, utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, sulfato de manganês, cloreto de potássio e oxiclreto de cobre.

No início de 2008, antes da instalação do experimento, foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-0,2 m para caracterização química e física da área (Tabela 1). Os tratos culturais e fitossanitários foram comuns a todos os tratamentos e seguiram o manejo adotado na propriedade. As adubações continuaram sendo realizadas conforme a CFSEMG: 5ª aproximação (GUIMARÃES et al., 1999), levando em consideração os resultados da análise de solo, exceto para o fósforo.

Em 2009 foi realizada calagem, aplicando-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário cálcico com PRNT de 100% na projeção da copa dos cafeeiros em todo experimento, nos outros anos não foi feita a reaplicação de calcário. Os tratamentos constituíram da aplicação de 6 doses de P em duas fontes, sendo: 0 (testemunha), 75, 150, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato simples e termofosfato magnésiano não enriquecido com micronutrientes.

Tabela 1 Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho distrófico, na profundidade de 0-0,2 m, da Fazenda Experimental da EPAMIG de Três Pontas – MG, antes da instalação do experimento

<b>pH</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>M</b>
água	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
5,6	184	2,6	0,7	0,1	3,2	3
<b>M.O.</b>	<b>P</b>	<b>P-rem</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	
dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			-----g kg <sup>-1</sup> -----		
2,1	8,2	26,4	280	320	400	

O delineamento experimental em blocos casualizados, com esquema fatorial 6x2 com cinco repetições utilizando-se 10 plantas por parcela, sendo as 8 centrais consideradas úteis. Os tratamentos foram aplicados manualmente em uma só vez, no início do período chuvoso (outubro), sendo reaplicados anualmente no mesmo período.

A nutrição mineral da lavoura foi acompanhada através de análises foliares, de amostras coletadas antes da fase de enchimento de grãos, e de análises de solo de amostras coletadas na projeção da “copa” dos cafeeiros nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m, sempre após a colheita, antes da aplicação anual dos tratamentos. As amostras de solo foram coletadas utilizando-se trado, e para cada profundidade foram retiradas amostras compostas em pontos diferentes, respeitando-se a independência das camadas. Para análise do material vegetal, foram coletadas folhas no terço médio das plantas, do terceiro ou quarto pares de folhas do ramo plagiotrópico.

As análises dos materiais foram feitas no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal de Lavras. A caracterização química do solo (pH em água, K, Ca, Mg, Al, H + Al, P, P-remanescente) foi realizada segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária - EMBRAPA (2009). Para a determinação dos teores de P no solo foram utilizados os extratores Mehlich- 1(EMBRAPA, 2009) e a resina de troca iônica (RAIJ et al., 2001). Para determinação dos teores de nutrientes na matéria seca das folhas foram utilizados os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

A avaliação da eficiência das fontes de P foi feita mediante cálculo do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) descrito por Chien e Hammond (1978):

$$IEA(\%) = 100(P_n - P_0) / (PSFT - P_0)$$
, sendo:  $P_n$ , a produção obtida com a fonte na dose  $n$ ;  $P_0$ , a produção da testemunha (0 mg kg<sup>-1</sup> de P);  $PSFT$ , a produção obtida com a fonte solúvel na dose  $n$ .

Para o cálculo da produção correspondente à máxima eficiência econômica utilizou-se a dose equivalente a 90% da máxima produção física (ALVAREZ V., 1996).

As produções das parcelas nos anos de 2009, 2010 e 2011 foram medidas, avaliadas as produtividades nos diferentes tratamentos, sendo a colheita realizada manualmente sobre “pano”.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ajustadas as equações de regressão para avaliar os teores de P no solo e na planta, assim como para a produtividade. Foram feitos também, quando necessários, testes de média (Skott-Knott, 5%) para avaliar o efeito das fontes. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Efeito da aplicação de doses de superfosfato simples no solo

Os teores de Ca no solo tiveram comportamento exponencial em função da aplicação das crescentes doses de superfosfato simples apenas em 2011 na profundidade de 0-0,2 m (Figura 1A), nos outros anos não houve significância. Isso ocorreu, provavelmente, devido à maior absorção de Ca pelas plantas nos tratamentos que receberam as doses mais elevadas de superfosfato simples e, ou, em função da maior precipitação pluviométrica após a aplicação dos tratamentos, antes do período de amostragem de solo nos anos 2009 e 2010, que fizeram com que o  $\text{Ca}^{2+}$  juntamente ao  $\text{SO}_4^{2-}$  descessem no perfil do solo. De acordo com Dias (2010), a aplicação de fertilizantes, principalmente os que contêm íons  $\text{SO}_4^{2-}$ , como o superfosfato simples, contribui para movimento de bases no perfil do solo, devido principalmente à formação de complexos químicos salinos solúveis neutros.

Os teores de Mg no solo tenderam a diminuir com o aumento das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  como superfosfato simples (Figuras 1B e 1C). Esse fertilizante contém em sua formulação sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), que ao entrar em contato com o solo dissocia-se, em parte, em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (RAIJ, 2008), e provavelmente este último carregou o Mg na forma de  $\text{MgSO}_4$  para a subsuperfície. Além da maior precipitação em 2009 e 2010, conforme já citado, que pode ter favorecido a lixiviação de  $\text{Mg}^{+2}$ , existe o fato do  $\text{MgSO}_4$  ser mais solúvel que o  $\text{CaSO}_4$  (FREIRE et al., 2007), e o  $\text{Mg}^{2+}$  tende a ser trocado pelo Ca e permanecer em solução o que favorece sua lixiviação. A grande mobilidade vertical de cátions, principalmente Mg ocasionada pelo gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) (SALDANHA, 2005), deve-se a maior solubilidade desse produto, à inalteração das cargas elétricas, e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo (CAIRES



et al., 1998; DIAS et al., 1994; ERNANI; BARBER, 1993). A lixiviação do Mg trocável também foi observada em diversos trabalhos com gesso agrícola (CAIRES et al., 1999; CAIRES et al. 2003; OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

Os teores de S-SO<sub>4</sub> no solo na superfície, conforme esperado, elevaram-se em função da aplicação do superfosfato simples em 2010 e 2011 (Figuras 1D e 1E), que contém em sua formulação cerca de 12% de S. De acordo com Caires et al. (1998) a mobilidade do S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> é variável em diferentes solos, sendo mais lenta em solos com maiores teores de argila.

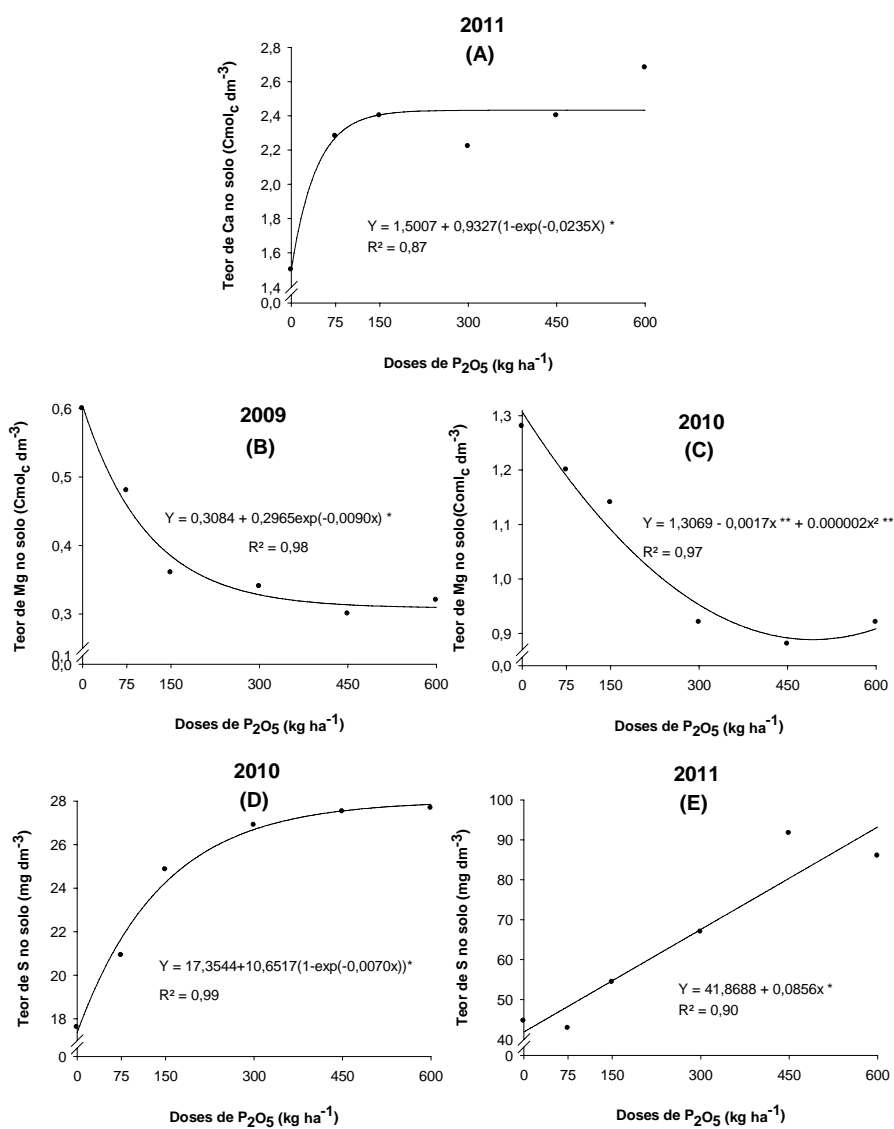


Figura 1 Teores Ca, Mg e S-SO<sub>4</sub> no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como superfosfato simples, em diferentes anos e duas profundidades (A, B e C = 0-0,2 m e D e E = 0-0,1 m). \* Significativo, pelo teste de t, a 5%

### **3.2 Efeito da aplicação de doses de superfosfato simples na planta**

Os teores foliares de Ca e Mg em 2010 (Figura 2), refletem bem o que ocorreu no solo. Os teores foliares de Ca aumentaram de forma linear de acordo com as doses de  $P_2O_5$  aplicadas como superfosfato simples, provavelmente os teores de Ca no solo em subsuperfície, profundidade não amostrada, se elevaram, ocasionando maior absorção e aumentos nos teores foliares. Diversos autores trabalhando com diferentes culturas observaram aumentos significativos nos teores de Ca em função da aplicação de superfosfato simples (FONSECA, 1991; FORTES, 1991; REZENDE, 1991; ROCHA, 1992; SEABRA FILHO, 1994).

O Mg, devido ao desbalanço causado no solo pela aplicação das elevadas doses de superfosfato simples, e conseqüentemente sua lixiviação e competição com o Ca pelos mesmos sítios de absorção (MALAVOLTA, 1980), teve sua disponibilidade prejudicada e seus teores foliares reduzidos abaixo do teor considerado adequado para a cultura segundo Guimarães et al. (1999). Marques, Faquin e Guimarães (1999) trabalhando com doses de gesso e calcário em cafeeiros encontraram tendências de redução dos teores foliares de Mg em função das doses de gesso empregadas. Quaggio, Dechen e Rajj (1982) verificaram em amendoim uma diminuição no teor foliar de Mg com o aumento das doses de gesso.

É importante ressaltar que mesmo com a redução dos teores de Mg no solo e nas folhas, as produtividades foram lineares em função das doses de  $P_2O_5$  nos tratamentos cuja fonte utilizada foi o superfosfato simples (Capítulo II), evidenciando os efeitos positivos da aplicação de P em cafeeiros em fase de produção ao se utilizar o superfosfato simples.

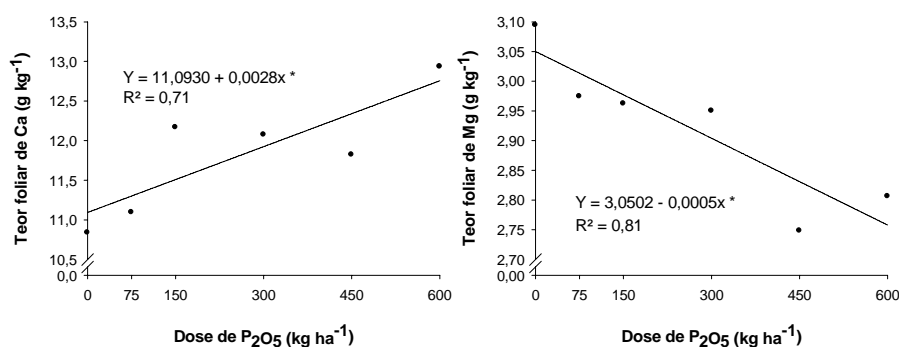


Figura 2 Teores foliares de Ca e Mg em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como superfosfato simples, em 2010. \* Significativo, pelo teste de t, a 5%

### 3.3 Efeito da aplicação de doses de termofosfato magnésiano no solo

Os teores de Mg no solo, nos tratamentos onde a fonte utilizada foi o termofosfato magnésiano, elevaram-se em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 2010 e 2011, os quais se apresentaram superiores na superfície (Figura 3). Os teores de Ca no solo nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m em 2011, também elevaram-se em função da aplicação do termofosfato (Figura 4). Ramos et al. (2006) em estudo com corretivos de acidez e condicionadores convencionais de solo em colunas de lixiviação, observaram aumentos expressivos nos teores de Ca e Mg em função da aplicação do termofosfato magnésiano.

Em solos não alagados o pH é um dos fatores que mais influenciam na disponibilidade de nutrientes para as plantas. O termofosfato magnésiano, além de fornecer P, Ca, Mg e Si, tem efeito corretivo, graças à sua reação alcalina (pH 8,0), que reduz as concentrações de Al e Mn no solo (KORNDÖRFER; PEREIRA; NOLLA, 2004; VITTI et al., 2004).

Diversos trabalhos têm mostrado o potencial do termofosfato em elevar o pH do solo (BALDEÓN, 1995; BÜLL, 1993; GOEDERT; LOBATO, 1984; KORNDÖRFER; GASCHO, 1999; LOBATO, 1982; MORELLI, 1991; SANTOS et al. 2006; YOST et al., 1982). Ramos et al. (2006) em um trabalho em colunas de lixiviação, fixaram as doses em função da % de Ca aplicada ao solo, e observaram que o termofosfato promoveu elevação no pH do solo superior ao próprio calcário. Como pode-se observar na figura 5, o comportamento do pH em função das doses de  $P_2O_5$  aplicadas como termofosfato foi linear em 2010 e 2011 nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m. Essa capacidade corretiva do termofosfato deve-se à presença do ânion silicato, na forma de silicato de cálcio ou magnésio ( $CaSiO_3 / MgSiO_3$ ) (BALDEÓN, 1995). O  $CaSiO_3 / MgSiO_3$  dissocia-se e produz íons  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$  e  $SiO_3$ ; o  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$ , por sua vez, desloca o  $Al^{3+}$  do complexo, enquanto o  $SiO_3$  neutraliza os íons  $H^+$  presentes na solução do solo e converte-se em  $H_2 SiO_3$  (MALAVOLTA, 1985).

Devido ao seu poder em neutralizar os componentes da acidez e fornecer Ca e Mg, o termofosfato também tem efeito sobre a saturação por bases (V%). Como pode-se observar, a saturação por bases em 2010 na profundidade de 0-0,1 m (Figura 6A), elevou-se de forma linear a valores bem acima dos 60%, considerados adequados (GUIMARÃES et al., 1999) é importante comentar que as produtividades em 2009 e no biênio 2009-2010 não aumentaram de forma linear (capítulo II), podendo ter sido reflexo dessa elevação excessiva da saturação por bases e da elevação do pH (Figura 5A), a níveis prejudiciais à disponibilidade, principalmente de micronutrientes. Quando se substitui a dose ( $198 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) correspondente à produção responsável pela máxima eficiência econômica no ano de 2009 (capítulo II) na equação estimada de saturação por bases em função das doses de termofosfato, obtém-se valor de V% de 76,54% como ideal para àquele ano.

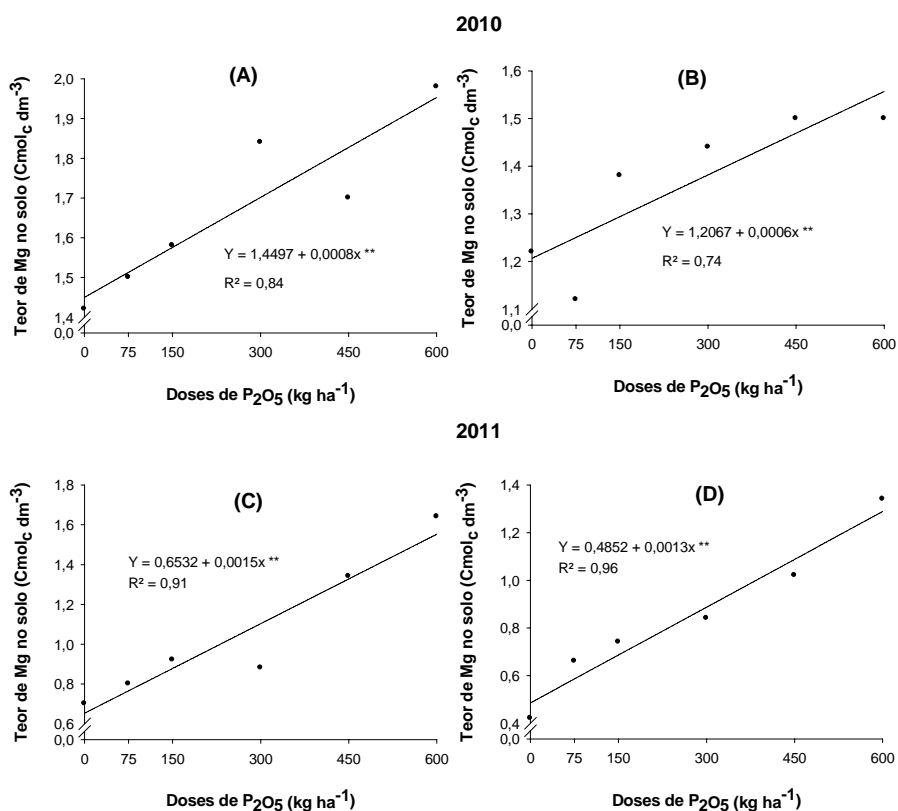


Figura 3 Teores de Mg no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2010 e 2011 e duas profundidades (A e C = 0-0,1 m; B e D = 0-0,2 m). \* Significativo, pelo teste de t, a 5%

Em trabalho realizado em cafeeiros por Correa et al. (2007), a maior produtividade em uma média de três safras foi obtida com saturação por bases de 55,1%. A saturação por bases em 2011 nas profundidades de 0-0,1 e 0-0,2 m também elevou-se de forma linear, porém os valores não ultrapassaram 75% (Figuras 6B e 6C). Resultados semelhantes foram observados por Beltrán, Silveira e Passos (1998).

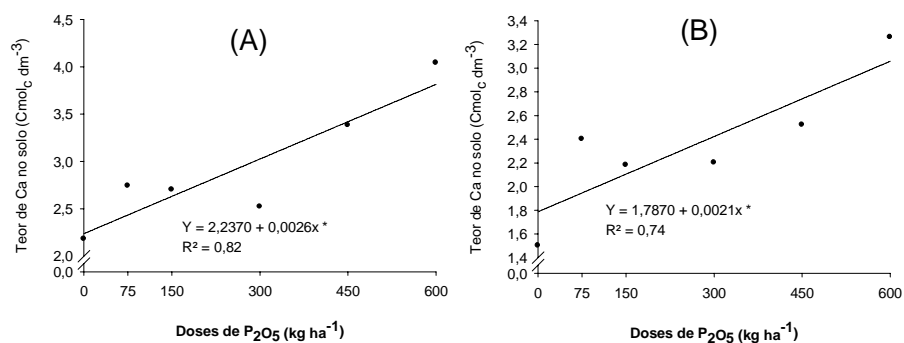


Figura 4 Teores de Ca no solo em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2011 e duas profundidades (A e B = 0-0,1 m e 0-0,2 m, respectivamente).  
\*Significativo, pelo teste de t, a 5%

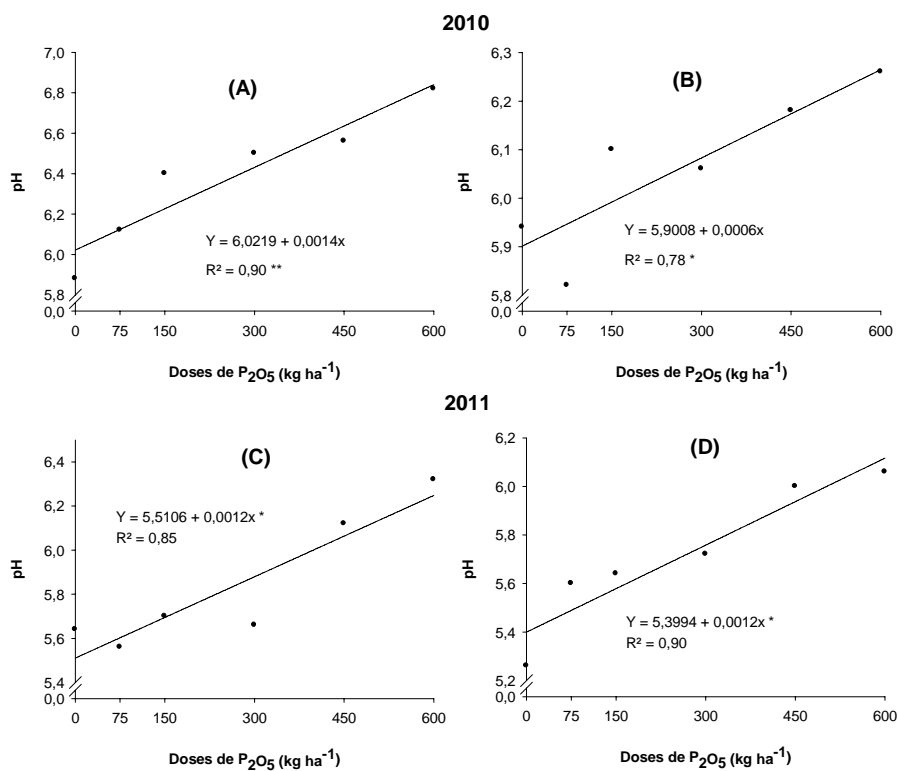


Figura 5 Valores de pH em água em função de doses anuais de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2010 e 2011, em duas profundidades (A e C = 0-0,1 m; B e D= 0-0,2 m). \* Significativo, pelo teste de t, a 5%



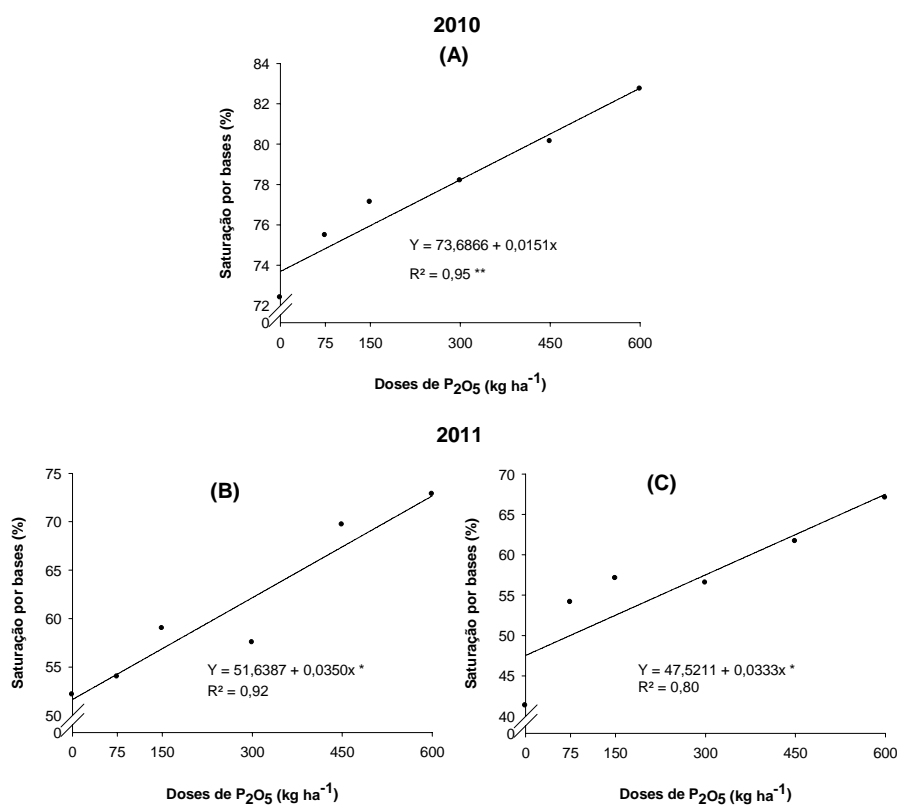


Figura 6 Valores de Saturação por bases (V%) em função da aplicação de doses anuais de fósforo como termofosfato magnésiano, em 2010 e 2011, em duas profundidades (A e B = 0-0,1 m; C = 0-0,2 m). \* Significativo, pelo teste de t, a 5%

### 3.4 Efeito da aplicação de doses de termofosfato magnésiano na planta

Ao contrário do que ocorreu nos tratamentos cuja fonte utilizada foi o superfosfato simples, os teores foliares de Mg, como reflexo do que ocorreu no solo, também se elevaram em função das doses de termofosfato magnésiano (Figura 7), comprovando a eficiência desse produto em fornecer Mg ao cafeeiro. Em estudo com diversas fontes e doses de fósforo aplicadas no sulco de plantio

do cafeeiro, Melo et al. (2005) observaram os maiores teores foliares de Mg aos 24 e 36 meses após o plantio quando a fonte utilizada foi o termofosfato magnésiano.

Em função da elevação do pH decorrente da aplicação do termofosfato, os teores foliares dos micronutrientes catiônicos ( $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ) foram linearmente reduzidos (Figura 8); sendo isso, uma das possíveis causas da menor produtividade no biênio 2009-2010 com utilização desta fonte (capítulo II). Porém apenas o teor foliar de ferro (Fe) encontrou-se abaixo da faixa considerada adequada para o cafeeiro (GUIMARÃES et al., 1999). Segundo Nunes et al. (2004), a correção da acidez associada à adição de elevadas doses de fertilizantes fosfatados, tem sido relatada como uma das causas do aparecimento de sintomas de deficiência de Fe em cafeeiros cultivadas em solos com altos teores desse nutriente.

Solos altamente intemperizados apresentam baixas concentrações de micronutrientes catiônicos na solução, em função da pobreza química de seus constituintes e da alta afinidade desses nutrientes com os colóides do solo (PEGORARO et al., 2006).

Segundo Heinrichs et al. (2008), em valores de pH entre 5,5 e 6,5 a disponibilidade de  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  é considerada adequada à nutrição das plantas. Observa-se na figura 5, que os valores de pH extrapolaram a faixa citada pelo autor apenas em 2010, ano em que foi mais evidente a redução na disponibilidade desses micronutrientes. No entanto, os teores de  $Zn^{2+}$  e de  $Cu^{2+}$ , também, são influenciados pela textura e pelo teor de matéria orgânica do solo, respectivamente. Adicionalmente, a interação entre nutrientes, também, constitui um aspecto a ser considerado.

Em decorrência da aplicação de doses crescentes de adubos fosfatados, Nunes et al. (2004) e Reis Júnior e Martinez (2002) observaram em cafeeiros problemas na nutrição de  $Zn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ . A interação entre P e Zn no solo, a

redução da translocação do Zn para a parte aérea (FAQUIN, 2005), o efeito da diluição do teor de Zn em resposta à aplicação de fósforo e às desordens metabólicas no interior das células (OLSEN, 1972), que estão entre as causas do antagonismo P e Zn. Nesse ensaio fica mais evidente o efeito do pH sobre a redução na disponibilidade desses nutrientes, pois nos tratamentos cuja fontes utilizada foi o superfosfato simples, tal fato não foi observado.

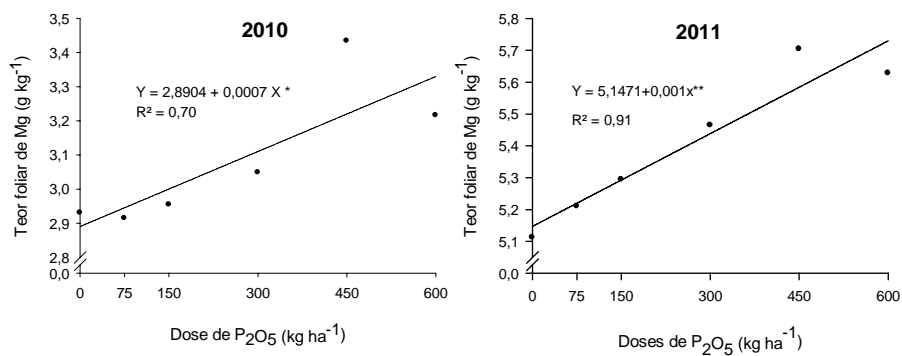


Figura 7 Teores foliares de Mg em função da adubação anual com diferentes doses de fósforo como termofosfato magnésiano, nos anos de 2010 e 2011. Significativo, pelo teste de t, \* a 5% e \*\* a 1%

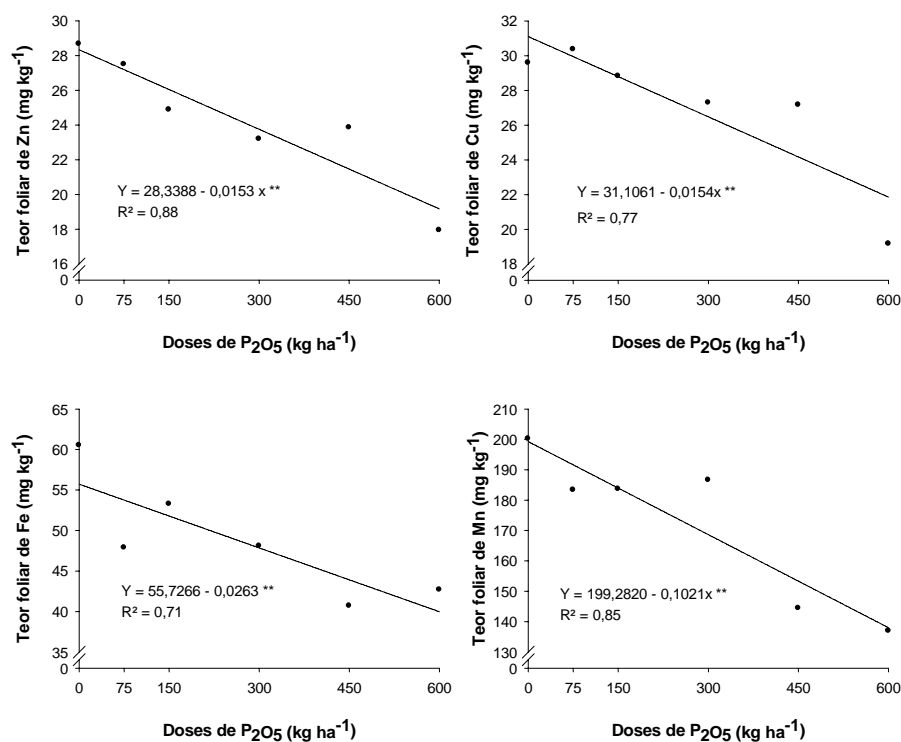


Figura 8 Teores foliares de micronutrientes catiônicos função a aplicação de doses anuais de fósforo como termofosfato magnésiano em 2010.  
\*Significativo, pelo teste de t, a 5%

A adubação fosfatada em cafeeiros adultos se mostra importante para obtenção de elevadas produtividades, conforme visto no capítulo II. Mesmo com os “desequilíbrios” observados, as respostas em produtividade foram lineares em função da aplicação de P, comprovando a eficiência dos tratamentos. Ressalta-se ainda a importância do acompanhamento da nutrição foliar e dos teores de nutrientes no solo para a correção de eventuais deficiências e desequilíbrios, podendo assim, aumentar ainda a produtividade.

#### 4 CONCLUSÕES

As adubações com elevadas doses de superfosfato simples causaram reduções nos teores de Mg e elevação nos teores de Ca no solo e nas folhas e aumentaram os teores de S apenas no solo.

Os teores de Ca no solo e Mg no solo e folhas aumentaram com a aplicação do termofosfato magnesiano.

O termofosfato magnesiano elevou o pH e a saturação por bases e redução nos teores foliares de micronutrientes.

Com a necessidade da aplicação de elevadas doses de fertilizantes fosfatados na cultura do cafeeiro, é indispensável acompanhar com maior critério as análises de solo e folhas para correção de eventuais desequilíbrios.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, C. J. Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. XII, p. 740.
- ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 615-645.
- BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnesiano em solos ácidos**. 1995. 88 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I.; PASSOS, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Sci. agric.** vol. 55 n. 2 Piracicaba May/Aug. 1998.
- BÜLL, L. T. **Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e guminosa forrageiras**. 1986. 107 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, mar./abr. 2003.
- CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 315-327, 1999.
- CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 935-939, 1978.

CORREA, J. B. et al. Saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros catuaí vermelho (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 159-167, jul./dez. 2007.

DIAS, K. G. L. **Gesso agrícola**: efeitos no solo e no desenvolvimento e produtividade do cafeeiro. 2010. 45 p. Monografia (Curso de Tecnologia em Cafeicultura) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Machado, 2010.

DIAS, L. E. et al. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 373-380, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

ERNANI, P. R.; BARBER S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p. 41-46, 1993.

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FONSECA, E. B. A. **Efeitos de doses de superfosfato simples e de fungo micorrízico na formação de mudas de citros envasadas**. 1991. 100 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

FORTES, L. A. **Processos de produção do portaenxerto limoeiro (*Citrus limonia* Osbeck cv. Cravo) em vasos**. 1991. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

FREIRE, J. F. et al. Gesso mineral do araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 4, p. 199-213, 2007.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252 p.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. **Revista Brasileira da Ciência do solo**, Campinas, v. 8, p. 97-102, 1984.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

HEINRICH, R. et al. Atributos químicos do solo e produção do feijoeiro com a aplicação de calcário e manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1157-1164, 2008.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: [s. n.], 1999. p. 313-316.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. p. 201-39.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. Piracicaba: Fertilizantes Mitsui, 1985. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ª ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, jan./mar. 1999.



MELO, B. et al. Concentração de macronutrientes em folhas de cafeeiro, em função de fontes e doses de fósforo, em solo de cerrado em Patrocínio, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 47-57, maio/ago. 2005.

MORELLI, J. L. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas produtividades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 57-61, 1991.

NUNES, F. N. et al. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 423-429, 2004.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47- 57, 1996.

OLSEN, S. R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 243-264.

PEGORARO, R. F. et al. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: Influência da calagem, textura do Solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 859-868, 2006.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, n.3, p. 189-194, set./dez. 1982.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/Potafós, 1991. 343 p.

RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Campinas: IAC, 2008. 233 p.

RAMOS, L. A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 849-857, 2006.

REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de zn e absorção, translocação e utilização de Zn e p por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, p. 537-542, 2000.

REZENDE, L. P. **Efeito do volume de substrato e do superfosfato simples na formação de portaenxertos de citros**. 1991. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

ROCHA, M. N. **Crescimento e nutrição da tangerineira 'Cleópatra' fertilizada com doses de superfosfato simples e inoculada com fungos micorrízicos até a repicagem**. 1992. 87 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

SALDANHA, E. C. M. **Gesso mineral em cana-de-açúcar, efeitos no solo e na planta**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005. 55 f.

SANTOS, J. R. et al. Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 323–330, 2006.

SEABRA FILHO, M. **Efeito de composições e superfosfato simples no crescimento e nutrição de mudas de bananeira cv. Nanicão obtidas por propagação rápida “in vivo”**. 1994. 120 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1., 1985, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Caargil, 1985. p. 161-201.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 16, 2000.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 688-726.

YOST, R. S. et al. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.